SCIENCE • AVENTURE • EXPLORATION

REPORTAGE LES DESSOUS DE L'ÉLEVAGE DES VISONS

AVENTURE TREK EXTRÊME AU CŒUR DU GRAND CANYON

NATIONAL GEOGRAPHIC

SEPTEMBRE 2016



ENQUÊTE INÉDITE

LES SECRETS DE L'ŒIL

RÉVÉLATIONS SUR UN ORGANE FASCINANT

LES NOUVELLES AVANCÉES DE LA MÉDECINE

BEL : 6 € – CH : 9,50 CHF - CAN : 7,99 CAD – D : 7,50 € - ESP : 7 € - GR : 7 € - ITA : 7 € – LUX : 6 € – PORT.CONT. : 7 € – DOM : Avion : 7,5 € ; Surface : 6 € - Maroc : 65 DH – Tunisie : 10 TND – Zone CFA Bateau : 4 000 XAF – Zone CFP Avion : 1 600 XPF - Bateau : 650 XPF.

PRISMA MEDIA

M 04020 - 204 - F: 5,50 € - RD



Abbot Kinney
1400 S

L'édito



De gauche à droite et de haut en bas : bucorve du Sud ; ara rouge ; lynx roux ; gecko géant cornu ; rainette aux yeux rouges ; boa constricteur ; rainette de White ; loriquet à tête bleue ; rhinocéros blanc ; perroquet jaco ; gecko-mousse ; autruche d'Afrique ; python vert ; caméléon panthère ; humain.

Tous les yeux sont dans la nature

À quoi ça sert, un œil ? Ça dépend. Celui du ver de terre, composé de simples cellules photoréceptrices, se contente de dire s'il y a de la lumière – un peu, beaucoup ou pas du tout. Un cran au-dessus, l'œil de la larve de la cuboméduse surnommée « guêpe des mers » détecte la direction de la lumière grâce à un pigment qui fait en partie écran devant les photorécepteurs. Pratique pour se diriger vers une source lumineuse, s'en éloigner, ou pour réagir face à un prédateur. Troisième niveau, nous arrivons à l'escargot petit-gris : les cellules photoréceptrices forment des groupes qui s'orientent différemment et permettent d'obtenir des informations sur la lumière venue de plusieurs directions, et donc, de se forger une image de son environnement. Cette « vision basse » sert à éviter des objets ou à dénicher un habitat favorable. Enfin, au dernier stade, apparaît le cristallin, une lentille qui, en concentrant la lumière, offre une vision nette et détaillée. C'est notre œil (et celui de la pieuvre) : du très haut de gamme, qui nous permet de courir au milieu d'une forêt sans nous prendre une branche comme de lire ces lignes. Un organe absolument prodigieux, dont nous racontons dans ce numéro la longue évolution depuis l'apparition de la vie. Où l'on découvre que, selon les espèces, l'œil se retrouve sur la tête ou au bout des bras, par paire, en rangées, en grappes ou avec des facettes. Comme si la nature avait essayé toutes sortes de « solutions » jusqu'à en retenir, en partie par hasard, un certain nombre. Et c'est exactement ce qui s'est produit : comme nous face à un nouveau défi, la vie tâtonne, improvise, jusqu'à la résolution du problème. Et il n'y a pas qu'une seule bonne réponse.

Jean-Pierre Vrignaud, rédacteur en chef

PHOTOGRAPHIÉS À L'EAST BAY VIVARIUM DE BERKELEY ; AU ZOO DE SAN FRANCISCO ; AU MUSÉE ET ZOO POUR ENFANTS DE PALO ALTO ; AU SAFARI WEST DE SANTA ROSA ; AU ZOO DU PARC SENECA, À ROCHESTER.



**Bar-lounge disponible en Première Classe et Classe Affaires à bord de l'A380 Emirates.


Pierre Gagnaire
- Artisan cuisinier -
ARRÊTONS DE FAIRE
LA FINE BOUCHE
AVEC LES MÉTIERS
DE L'ARTISANAT.
FNPCA 2016 - la chose & anatome - R.C.S Créteil B 499 796 233

NATIONAL GEOGRAPHIC

N°. 204 • VOL. 35.3



PAOLO MARCHETTI

Septembre 2016

Rubriques

En couverture : Œil.
Photo : © Science Photo Library/Alamy.

SERVICE ABONNEMENTS NATIONAL GEOGRAPHIC FRANCE ET DOM-TOM
62066 ARRAS CEDEX 09
TÉL. : 0811 23 22 21
PRISMASHOP.NATIONALGEOGRAPHIC.FR

CANADA : EXPRESS MAGAZINE
8155, RUE LARREY - ANJOU - QUÉBEC
H1J2L5
TÉL. : 800 363 1310

ÉTATS-UNIS : EXPRESS MAGAZINE
PO BOX 2769 PLATTSBURG NEW YORK
12901 - 0239.
USACAN MEDIA CORP, 123A DISTRIBUTION WAY BUILDING H-1, SUITE 104
PLATTSBURGH, NY 12901

BELGIQUE : PRISMA/EDIGROUP
BASTION TOWER ÉTAGE 20 - PLACE DU CHAMP-DE-MARS 5
1050 BRUXELLES. TÉL. : (0032) 70 233 304
PRISMA-BELGIQUE@EDIGROUP.BE

SUISSE : EDIGROUP
39, RUE PEILLONNEX - 1225 CHÊNE-BOURG
TÉL. : 022 860 84 01 -
ABONNE@EDIGROUP.CH

ABONNEMENT UN AN/12 NUMÉROS :
FRANCE : 56 €, BELGIQUE : 56 €,
SUISSE : 14 MOIS - 14 NUMÉROS : 79 CHF,
CANADA : 73 CAN$ (AVANT TAXES).
(OFFRE VALABLE POUR UN PREMIER ABONNEMENT)

VENTE AU NUMÉRO ET CONSULTATION
TÉL. : 0811 23 22 21 (PRIX D'UNE COMMUNICATION LOCALE)

COURRIER DES LECTEURS
NATIONAL GEOGRAPHIC
13, RUE HENRI-BARBUSSE
92624 GENNEVILLIERS CEDEX
NATIONALGEOGRAPHIC@NGM-F.COM

Ce numéro comporte un encart Welcome Pack ADD/ADI posé sur une sélection d'abonnés, un encart Lettre extension ADD/ADI posé sur une sélection d'abonnés, un encart VPC France Extra posé sur une sélection d'abonnés, un encart Rue des Etudiants posé sur tous les abonnés.

PEFC/29-31-75


PODER
DE ATRAÇÃO*
NESPRESSO
CAFEZINHO
do BRASIL
ÉDITION LIMITÉE 2016
TOUTE L'INTENSITÉ DU BRÉSIL

VISIONS



FIGÉS DANS LE TEMPS
États-Unis À Bodie, en Californie, des bâtiments désaffectés et une Chevrolet 1937 rouillée se parent d'une lumière irréelle, due à une exposition d'une heure. Cette ancienne ville minière, bâtie à l'époque de la ruée vers l'or, a été classée en 1961.

PHOTO : BERTHOLD STEINHILDER, LAIF/REDUX







UN PARTERRE DE LUCIOLES
États-Unis Comme des feux follets dans la nuit, des lucioles « fantômes bleus » *(Phausis reticulata)* illuminent des bois en Caroline du Nord. Cette image a été composée numériquement en assemblant plus de 300 poses de 30 secondes, réalisées sur une durée de quatre heures.
PHOTO : SPENCER BLACK





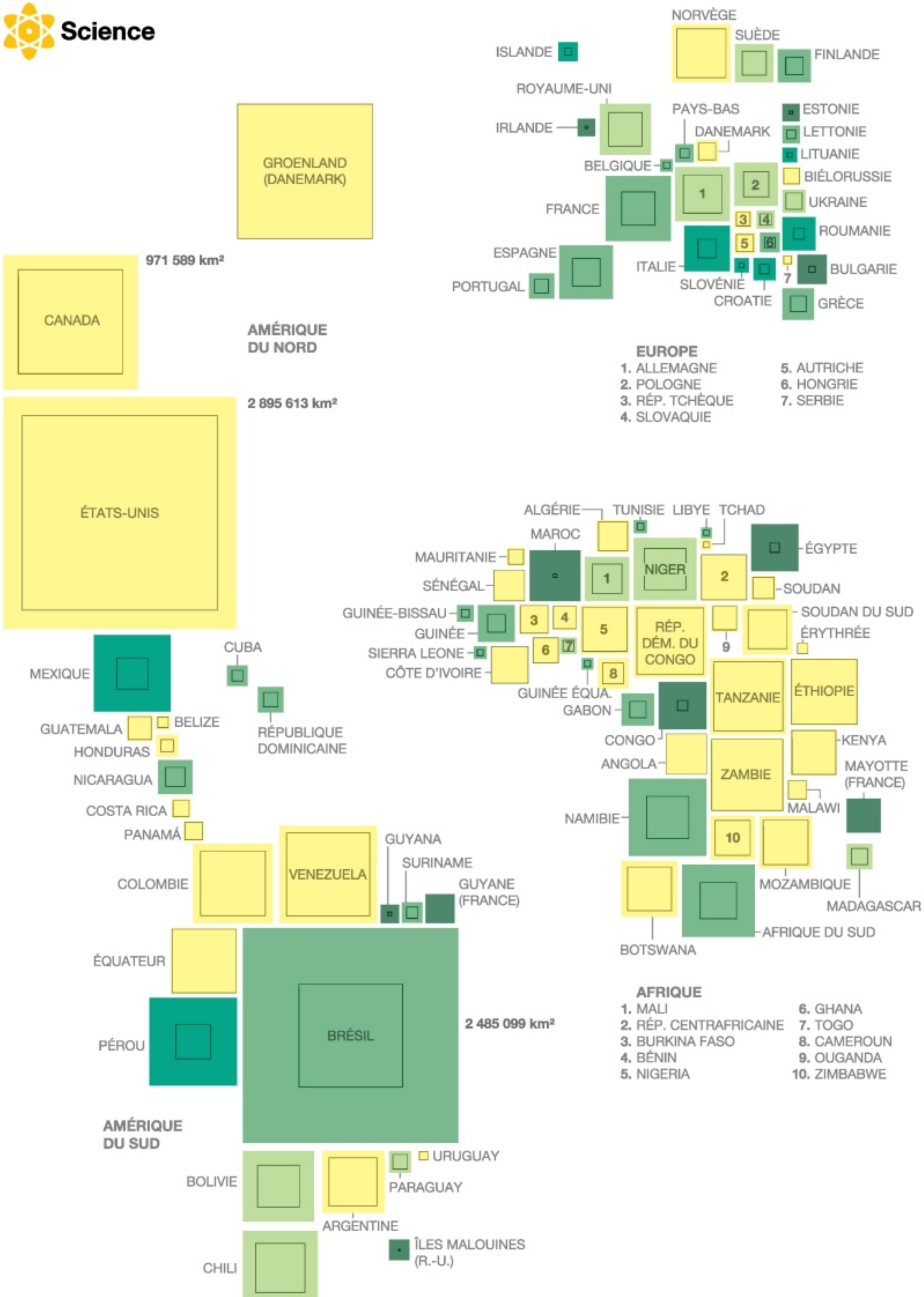
HONGKONG VUE DU SOL

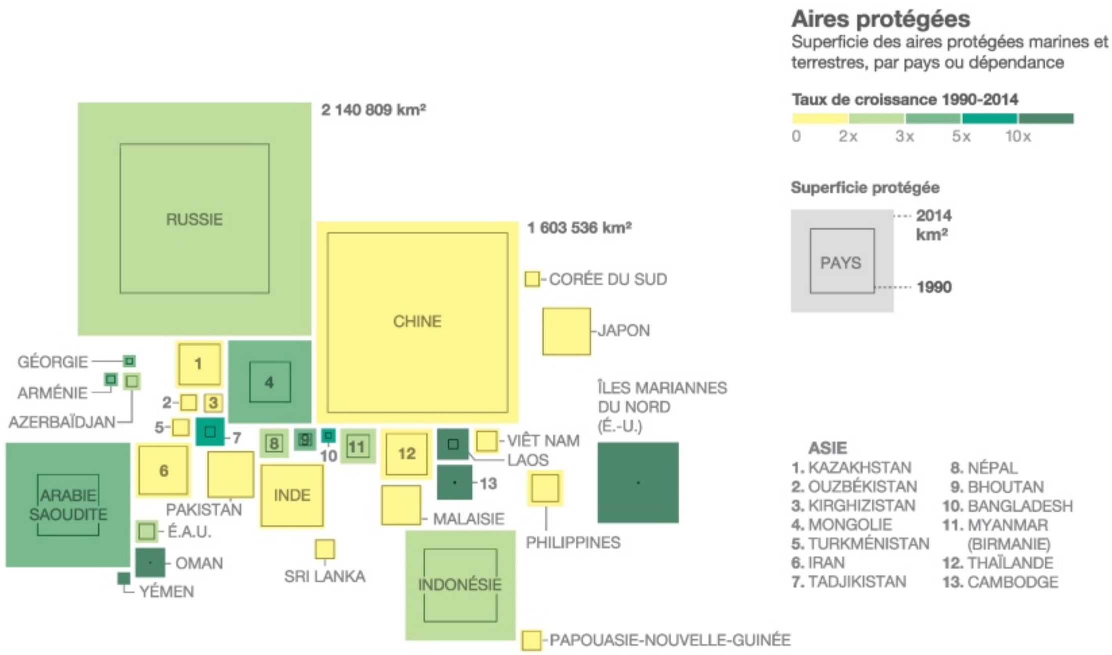
Chine Sur cette vue vertigineuse de Hongkong, des nuages bas font la course au-dessus du quartier de Quarry Bay, reflétant les lumières de la ville en dessous. La plupart des grands immeubles visibles sur cette photo ont été construits en 1972.

PHOTO : ROMAIN JACQUET-LAGRÈZE

NOS ACTUS

Science



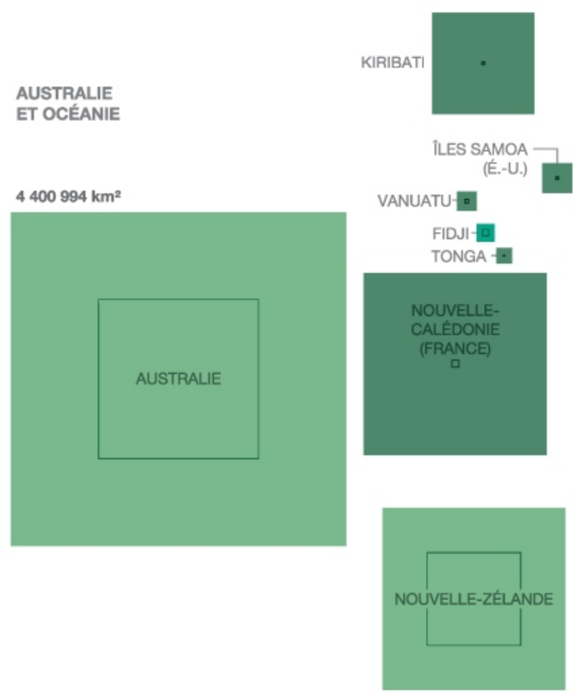


15 % de la surface terrestre est protégée

Près de 33 millions de kilomètres carrés : c'est la superficie totale des zones terrestres et marines que les pays ont décidé de préserver. Une étendue plus grande que l'Afrique. Depuis 1990, le nombre de réserves marines, parcs nationaux, aires naturelles et autres territoires protégés est passé de moins de 50 000 à plus de 229 000.

« La plupart des pays font de leur mieux » pour préserver ces richesses, explique Pedro Rosabal de l'Union internationale pour la conservation de la nature (UICN). Mais il reste encore beaucoup à accomplir. Bien qu'environ 15 % de la surface terrestre bénéficie du statut d'aire protégée, la moitié des sites sont petits et isolés, montrant la nécessité d'établir des corridors biologiques. Seuls 3,5 % des mers et des océans sont protégés, mais différents projets en cours devraient bientôt changer la donne.

Selon Pedro Rosabal, la coopération internationale et un soutien financier seront essentiels pour protéger davantage de zones et favoriser la biodiversité. Ces questions sont justement au programme des débats du Congrès mondial de la nature organisé par l'UICN, à Hawaii, début septembre. — *Kelsey Nowakowski*



Pays en guerre
Les pays déchirés par des conflits, comme le Liberia, la Somalie, la Syrie et l'Afghanistan, ne sont pas représentés car ils ont peu d'aires protégées.

SEULS LES PAYS ET LES TERRITOIRES AYANT PLUS DE 5 000 KM² D'AIRES PROTÉGÉES SONT REPRÉSENTÉS

INFOGRAPHIE : MONICA SERRANO, ÉQUIPE DU NGM. SOURCES : UICN ET UNEP-WCMC, BASE DE DONNÉES MONDIALE SUR LES AIRES PROTÉGÉES 2016



Avec le bruit, le goût change

L'avion atteint sa vitesse de croisière et le personnel de cabine circule dans l'allée centrale, en proposant des boissons. Soudain, un jus de tomate – ou un Bloody Mary – vous fait saliver.

Est-ce une envie fortuite ? Pas forcément, répond Robin Dando, maître de conférences en science des aliments à l'université Cornell (États-Unis). Le haut niveau de décibels dans la cabine interfère avec la perception du goût. Le palais détecte le sucré, comme celui des sodas, avec moins d'intensité, tandis que la saveur appelée umami est exacerbée. Les passagers assoiffés se retrouvent parfois à vouloir de la nourriture relevée et optent fréquemment pour le jus de tomate.

Charles Spence, psychologue à l'université d'Oxford (Royaume-Uni), précise que le phénomène n'est pas limité au transport aérien. D'autres environnements très sonores altèrent les sensations gustatives, dit-il – ce qui pourrait expliquer pourquoi dîner dans un restaurant bruyant n'est pas toujours un plaisir. — *Catherine Zuckerman*

EN VOITURE (À HYDROGÈNE), SIMONE !

On connaissait la voiture électrique et celle à hydrogène, voici un modèle combinant les deux. Conçue par l'université britannique de Coventry, la Microcab est testée à Bruxelles jusqu'à la fin de l'année, dans le cadre du projet européen Swarm. Elle est dotée d'une batterie électrique – dont l'autonomie est d'environ 100 km – et d'un réservoir à hydrogène qui, combiné à de l'oxygène, autorise la propulsion. L'ensemble devrait lui permettre de parcourir 500 km, une distance inédite pour un véhicule silencieux, qui n'émet qu'un peu de vapeur d'eau. L'étude fine du système électricité/hydrogène permettra de gérer au mieux les capacités des deux sources d'énergie. Même si les carences en stations de recharge freinent l'utilisation des voitures électriques et à hydrogène, les chercheurs espèrent voir circuler une dizaine de véhicules en ville, au printemps 2017. — *Pierre Gautrand*



PHOTOS : EGGLESTON ARTISTIC TRUST/CHEIM & READ (EN HAUT) ; MICROCAB INDUSTRIES LIMITED

Science

Des plantes qui conduisent l'électricité

En Suède, des scientifiques ont acheté des roses ordinaires chez un fleuriste et les ont électrifiées en incorporant des circuits à leurs tissus vivants. Cette transformation n'est pas aussi farfelue qu'on pourrait le croire. Le système vasculaire d'une plante transmet des signaux chimiques un peu comme un circuit électrique transmet le courant. Pour fusionner les deux, la physicienne Eleni Stavrinidou et ses collègues ont placé l'extrémité coupée d'une rose dans une solution diluée de polymère (ci-dessous). Une fois absorbé, le polymère s'est réorganisé en câble électrique le long du xylème, le système de vaisseaux transportant l'eau dans la tige de la rose. Si on le met sous tension, on obtient une plante qui conduit l'électricité.

Quel est l'intérêt de créer une plante électronique ? Pour Eleni Stavrinidou, cette technologie pourrait déboucher sur la création de capteurs capables d'analyser et de modifier la physiologie d'une plante au niveau cellulaire. Autre possibilité : récupérer l'électricité produite par le biais de la photosynthèse. Un jour, conclut la chercheuse, « vous pourrez peut-être brancher votre téléphone sur une plante. » — *Rachel Hartigan Shea*



PHOTO : ELIOT GOMEZ



La radioactivité pour étudier les tortues

Les scientifiques ont toujours eu du mal à connaître les caractéristiques de la reproduction des tortues imbriquées, en danger critique d'extinction : dans les récifs coralliens d'Hawaii, il ne reste qu'une centaine de mâles adultes. Mais l'écologue marin Kyle Van Houtan a réalisé que les déchets des essais nucléaires menés dans le Pacifique (et le corail qui les avait absorbés) pouvaient fournir des indices essentiels. Les coraux se couvrant chaque année d'une couche supplémentaire (comme les anneaux de croissance des arbres), ils peuvent faire office de calendrier. En mesurant le radiocarbone dans le corail et en le comparant au taux présent dans la carapace des tortues imbriquées, Van Houtan a pu déterminer l'année de naissance de chaque individu (une première), son rythme de croissance et l'âge de sa maturité sexuelle.

D'après ses conclusions, les tortues imbriquées d'Hawaii commencent à se reproduire à un âge médian de 28,6 ans. Elles seraient devenues herbivores récemment, en raison d'un déclin de leurs ressources alimentaires, ce qui serait le signe d'un changement environnemental de mauvais augure. — *Nina Strochlic*

Dans certaines zones du Pacifique, la carapace des tortues imbriquées contient des déchets radioactifs.



PHOTOS : JOEL SARTORE, ARCHE PHOTOGRAPHIQUE DE NATIONAL GEOGRAPHIC, PHOTOGRAPHIÉ À L'AUSTRALIA ZOO WILDLIFE HOSPITAL (EN HAUT) ; BETTMANN/GETTY IMAGES



Coléoptère et « femme fatale »

Mourir en tentant de s'accoupler avec un leurre électrifié est une triste fin. Mais l'entomologiste Michael Domingue n'a aucun scrupule à tuer les agriles du frêne car, depuis 2002, ces coléoptères ont ravagé des centaines de millions de frênes blancs, originaires d'Amérique du Nord.

Pour les neutraliser, Michael Domingue et ses collègues de l'université d'État de Pennsylvanie ont créé une « femme fatale », au sens propre du terme : une fausse femelle, équipée d'une pile destinée à électrocuter tous les mâles qui tenteraient de la féconder. À l'aide d'une imprimante 3D, les scientifiques ont fabriqué une version rudimentaire de l'appât, que les agriles mâles ont regardé sans toucher. Les chercheurs ont aussi réalisé un modèle plus réaliste, avec la même teinte émeraude et la même texture de surface réfléchissante que celles d'une carapace d'agrile. Lors de tests avec de vraies femelles mortes et un leurre très ressemblant (ci-dessus, le troisième en partant de la gauche), chaque camp a eu un succès à peu près équivalent auprès de la gent masculine. Dans les zones encore non touchées par les agriles du frêne, disposer des pièges avec des appâts permettrait aux scientifiques de détecter la prolifération des coléopères et de prendre des mesures préventives. *— Patricia Edmonds*

HABITAT
Natif de Chine, l'agrile du frêne a été introduit aux États-Unis en 2002. Il est présent dans vingt-cinq États américains et au Canada.

L'INFO EN PLUS
Les larves de l'agrile du frêne tuent ces arbres en mangeant leur écorce intérieure.

Les appâts sont de faux coléoptères femelles pouvant asséner un choc électrique mortel.

PHOTOS : REBECCA HALE, ÉQUIPE DU NGM. COLÉOPTÈRES : JONATHAN LELITO, DÉPARTEMENT DE L'AGRICULTURE DES ÉTATS-UNIS (USDA). LEURRE : AKHLESH LAKHTAKIA ET STEPHEN SWIONTEK

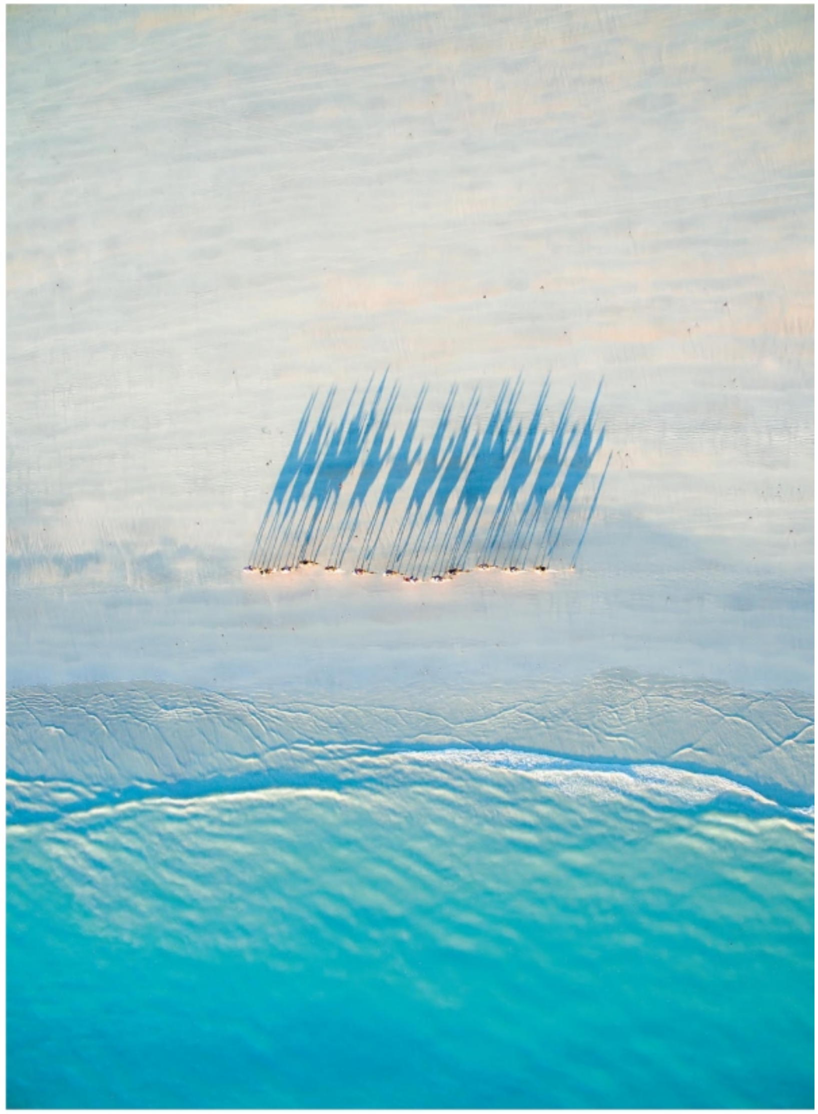
CONCOURS NATIONAL GEOGRAPHIC/DRONESTAGRAM

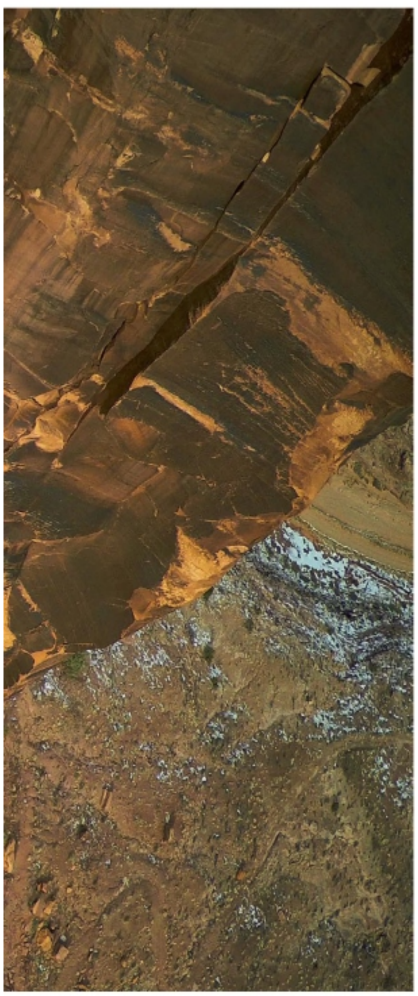
Photos par drone, le palmarès 2016

Accrochez vos ceintures ! Les lauréats du troisième concours international National Geographic/Dronestagram ont été dévoilés. Au total, près de 6 000 images prises par drone, dans vingt-huit pays différents, ont été soumises aux jurés : Emanuela Ascoli, rédactrice photo à *National Geographic France* ; Patrick Witty, directeur adjoint de la photographie au *National Geographic* américain ; et Guillaume Jarret, cofondateur du réseau social Dronestagram. Neuf photographes ont été primés dans les catégories « nature », « sport/aventure » et « voyage ».

« Nous avons mis trois critères à l'honneur : l'originalité, la maîtrise technique et la composition. Sans oublier l'importance de raconter une histoire à travers sa photo », explique Emanuela Ascoli. Pour obtenir ces incroyables clichés, les photographes ont dû composer avec les caprices de la météo et les restrictions liées à la législation. En France, par exemple, impossible de voler à plus de 150 m d'altitude, de « mitrailler » la nuit, de survoler les agglomérations ou les lieux sensibles, tels que les aérodromes ou les centrales nucléaires. Découvrez nos cinq images préférées. *— Corinne Soulay*







CARAVANE FANTÔME

Todd Kennedy, 2e prix, catégorie «voyage»

AUSTRALIE «Cette image a été prise lors de ma lune de miel à Cable Beach, dans l'ouest du pays. Nous avions réservé une promenade en dromadaire au coucher du soleil. Une belle expérience et aussi une excellente occasion de compléter ma collection de photos d'ombres, débutée dès que j'ai commencé la photographie par drone.»

L'APPEL DU VIDE

Max Seigal, 1er prix, catégorie «sport/aventure»

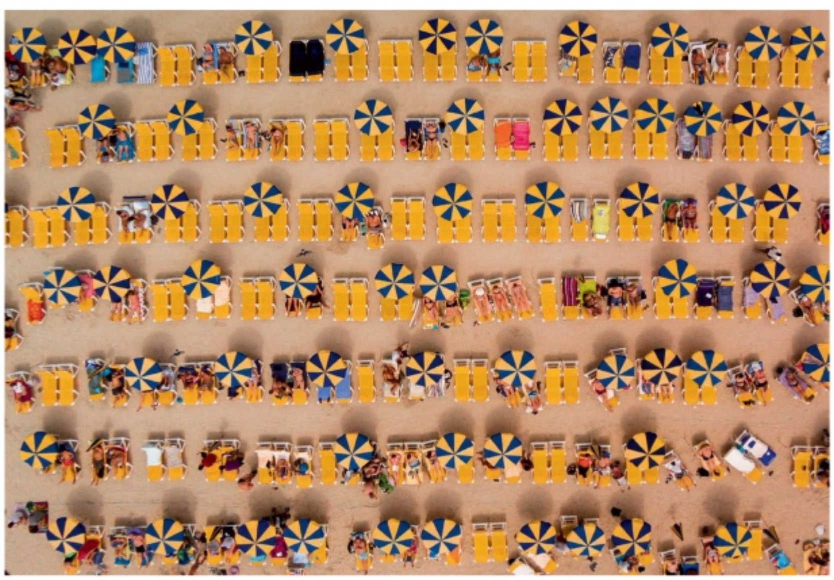
ÉTATS-UNIS «J'ai passé la journée à filmer deux de mes amis qui tentaient pour la première fois l'ascension de voies d'escalade uniques, dans le désert, aux environs de Moab (Utah). Nous avons marché des kilomètres à la recherche de la verticale parfaite, puis nous avons repéré cette étonnante fissure à 120 m du sol. Avec le drone, je peux "faire" des images qui n'auraient jamais été possibles auparavant!»



TRANSATS À LA CHAÎNE

Karolis Janulis, 3e prix, catégorie «voyage»

ESPAGNE « J'adore faire voler mon drone chez moi, en Lituanie. Chaque saison donne à la nature des formes et des couleurs formidables. Mais ce cliché a été réalisé en février dernier, lors d'un *road trip* à Grande Canarie. Sur cette île ensoleillée, j'ai pu réaliser des photos aériennes d'une des plages les plus incroyables du monde, celle d'Amadores. »





BOIS PRÉCIEUX

Michael Bernholdt , 1er prix, catégorie « nature »

DANEMARK « C'était la première fois que je sortais prendre des photos avec mon drone. J'avais passé des heures sur Google Maps à localiser les motifs et les endroits intéressants de la forêt de Kalbyris. L'Émeraude est une parcelle de pins entourée d'une forêt mixte et d'un ruisseau. Quand je suis arrivé sur place, j'avais déjà une assez bonne idée de ce à quoi je pouvais m'attendre. Par chance, il avait neigé toute la journée, de sorte que les pins se démarquaient parfaitement. »



APPARITION DIVINE

Francesco Cattuto, 1er prix, catégorie « voyage »

ITALIE « C'était le lendemain de Noël. Après un sympathique déjeuner chez mes parents en Ombrie, ma petite amie et moi avons décidé d'aller nous balader à Assise. C'était une journée brumeuse, mais j'ai décidé d'aller voir de plus haut. Lorsque mon drone a dépassé les nuages, j'ai été stupéfait par cette vue incroyable. J'ai eu le temps de prendre quelques clichés avant que le soleil ne se couche et que les nuages recouvrent le tout. »

EN COUVERTURE

COMMENT LA NATURE A INVENTÉ L'ŒIL

Après des millions d'années à tâtonner dans le noir, la nature a donné le jour à ce qui est peut-être sa plus sublime création : l'œil.



L'œil de l'iguane terrestre de Cuba (*Cyclura nubila nubila*) révèle un ressort fondamental de l'évolution : la forme répond à un besoin. La rétine de cet animal diurne possède quatre types de cellules de cônes, ce qui lui procure une excellente vision des couleurs de jour. En haut de sa tête, un troisième œil, plus simple, détecte la lumière et contribue à réguler sa température corporelle.

PHOTOGRAPHIÉ À L'EAST BAY VIVARIUM DE BERKELEY, CALIFORNIE



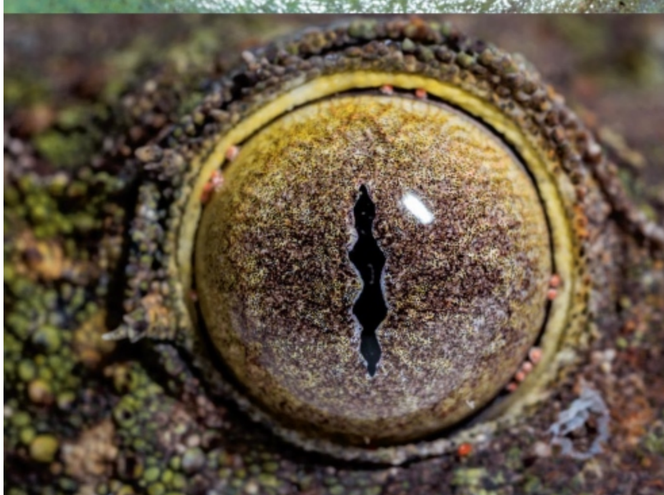






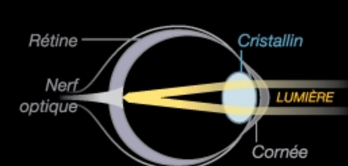










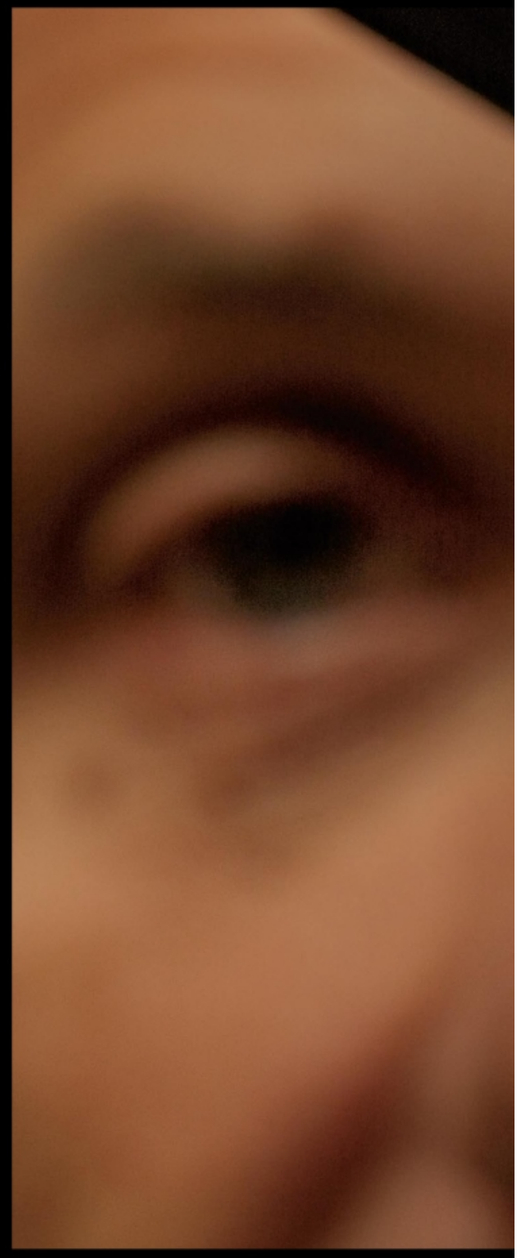


CHEZ LES VERTÉBRÉS Ces yeux de vertébrés dérivent d'un même modèle de base. Leur fonctionnement rappelle celui d'un appareil photo. La cornée et le cristallin concentrent les photons vers les cellules photoréceptrices de la rétine. Celles-ci changent les photons en signaux électriques, envoyés au cerveau par le nerf optique. Mais à qui appartiennent ces yeux ? Voir page 53.

PHOTOGRAPHIÉS À L'EAST BAY VIVARIUM DE BERKELEY ; AU ZOO DE SAN FRANCISCO ; AU MUSÉE ET ZOO POUR ENFANTS DE PALO ALTO ; AU SAFARI WEST DE SANTA ROSA ; AU ZOO DU PARC SENECA, À ROCHESTER.

SCHÉMA DE L'ŒIL : JASON TREAT, ÉQUIPE DU NGM. SOURCE : DAN-ERIC NILSSON, UNIVERSITÉ DE LUND, SUÈDE





UNE PUCE POUR VOIR À NOUVEAU Nos yeux ont évolué par la sélection naturelle, mais l'ingéniosité humaine peut faire des prodiges. Une radiographie (ci-dessus, à gauche) montre une puce rétinienne reliée à un dispositif électronique placé sous la peau. La puce, implantée dans la rétine gauche de Peter Böhm (ci-dessus, à droite), compte 1 500 pixels, qui remplacent les photorécepteurs qu'il a perdus après une maladie. Des signaux envoyés par les électrodes de la puce stimulent le nerf optique. Böhm peut à nouveau voir le monde, quoique en noir et blanc (en bas, à droite).

EBERHART ZRENNER, ESSAI D'IMPLANT ALPHA-IMS, RETINA IMPLANT AG, REUTLINGEN, ALLEMAGNE (À GAUCHE); PHOTOGRAPHIÉ AU LABORATOIRE ZRENNER, CENTRE D'OPHTALMOLOGIE, UNIVERSITÉ DE TÜBINGEN, ALLEMAGNE (CI-DESSUS); ROBERT MACLAREN, UNIVERSITÉ D'OXFORD /HÔPITAL OPHTALMOLOGIQUE D'OXFORD, ROYAUME-UNI (MÉDAILLONS)







Par Ed Yong
Photographies de David Liittschwager

« SI VOUS DEMANDEZ AUX GENS À QUOI SERVENT LES YEUX DES ANIMAUX, ILS VOUS RÉPONDRONT : À LA MÊME CHOSE

que chez les humains. Mais c'est faux. Totalement faux. » Dans son laboratoire de l'université de Lund (Suède), Dan-Eric Nilsson contemple les yeux d'une cuboméduse. Lui en a deux, bleu clair, dirigés vers l'avant. La cuboméduse en a vingt-quatre, marron foncé, regroupés en quatre structures – les rhopalies. Nilsson me montre un modèle de rhopalie : on dirait une balle de golf où des tumeurs auraient poussé. Une tige la relie à la méduse. « La première fois que j'en ai vu, je n'en croyais pas mes yeux, dit Nilsson. Elles avaient l'air vraiment bizarre. »

Quatre des six yeux de chaque rhopalie sont de simples fentes ouvrant sur un puits pour détecter la lumière. Mais les deux autres sont très complexes : comme les yeux de Nilsson, ils possèdent un cristallin qui concentre la lumière et forme des images, quoiqu'à basse résolution.

La cuboméduse figure parmi les animaux les plus frustes : une masse gélatineuse et palpitante, avec quatre faisceaux de tentacules urticants et un simple anneau nerveux en guise de cerveau. De quelles informations peut-elle avoir besoin ? À quoi peuvent lui servir ses yeux ?

En 2007, Nilsson et son équipe ont démontré que la cuboméduse *Tripedalia cystophora* utilise ses yeux à lentilles inférieurs pour repérer des obstacles – les racines de la mangrove où elle nage, par exemple. Il leur a encore fallu quatre ans pour découvrir le rôle des yeux à lentilles supérieurs. Premier indice : grâce à un poids flottant situé à la base de la rhopalie, l'œil supérieur regarde toujours vers le haut. S'il détecte des taches foncées, la méduse sent qu'elle nage sous le couvert de la mangrove (où elle peut trouver les petits crustacés à manger). Si la lumière est plus vive, cela signifie qu'elle s'est éloignée au large, et risque de mourir de faim.

Le règne animal compte une variété d'yeux quasi infinie : certains ne voient qu'en noir et blanc, d'autres distinguent la totalité de l'arc-en-ciel (et même des formes de lumière indiscernables pour l'œil humain) ; certains ne perçoivent pas la provenance de la lumière, d'autres détectent une proie qui court à des kilomètres de distance. Les plus minuscules, sur la tête d'une micro-guêpe, sont aussi petits qu'une amibe ; les plus gros, chez des calmars géants, ont la taille d'une grande assiette.

L'œil du calmar, comme le nôtre, fonctionne à la façon d'un appareil photo. Un seul cristallin y concentre la lumière sur une seule rétine. Et la rétine est tapissée de photorécepteurs (des cellules qui absorbent les photons et changent leur énergie en signal électrique). En revanche,



PUITS DE LUMIÈRE
Les deux points noirs sur la tête du ver plat *Dugesia dorotocephala* comptent parmi les plus simples des véritables yeux : des puits capables de sentir d'où vient la lumière extérieure, mais dépourvus de toute lentille de focalisation.

l'œil de la mouche est un œil composé – ou « à facettes ». Il répartit la lumière sur des milliers d'unités indépendantes, dont chacune a sa propre lentille et ses propres photorécepteurs.

Les yeux humains, comme ceux de la mouche et du calmar, sont fixés par paire sur la tête. Mais la coquille Saint-Jacques a des rangées d'yeux le long de son manteau ; l'étoile de mer en a au bout des bras ; et le corps de l'oursin pourpre fait office d'unique gros œil. Il y a des yeux dotés de lentilles bifocales, d'autres pourvus de miroirs, et même des yeux capables de regarder simultanément en haut, en bas et sur le côté.

Une telle diversité a de quoi déconcerter. Tous les yeux détectent la lumière, et la lumière se comporte de manière prévisible. Mais elle a de multiples usages. Elle traduit l'avancée du jour, la profondeur de l'eau, la présence d'ombre. Elle se réfléchit sur les ennemis, les partenaires et les abris. La cuboméduse s'en sert pour trouver des pâturages sans danger. Nous, humains, l'utilisons pour scruter un paysage, interpréter les expressions faciales et lire ces phrases.

La diversité des tâches dévolues aux yeux n'a d'autre limite que la générosité de la nature. Pour comprendre comment ils ont évolué, les scientifiques doivent donc examiner leurs structures, mais aussi comment les animaux les utilisent.

Il y a environ 540 millions d'années, la vie s'est brusquement diversifiée sur la Terre. C'est ce qu'on appelle l'explosion cambrienne. Les ancêtres de la plupart des classes d'animaux modernes sont apparus à ce moment-là. Et nombre de ces précurseurs ont laissé des traces fossiles. En passant certaines empreintes très bien conservées au microscope électronique à balayage, des scientifiques ont pu reconstituer leur anatomie intérieure, yeux compris, et restituer la façon dont ils voyaient le monde.

« J'étais stupéfaite, se souvient Brigitte Schoenemann, de l'université de Cologne. Nous pouvons même calculer le nombre de photons qu'ils pouvaient capturer. »

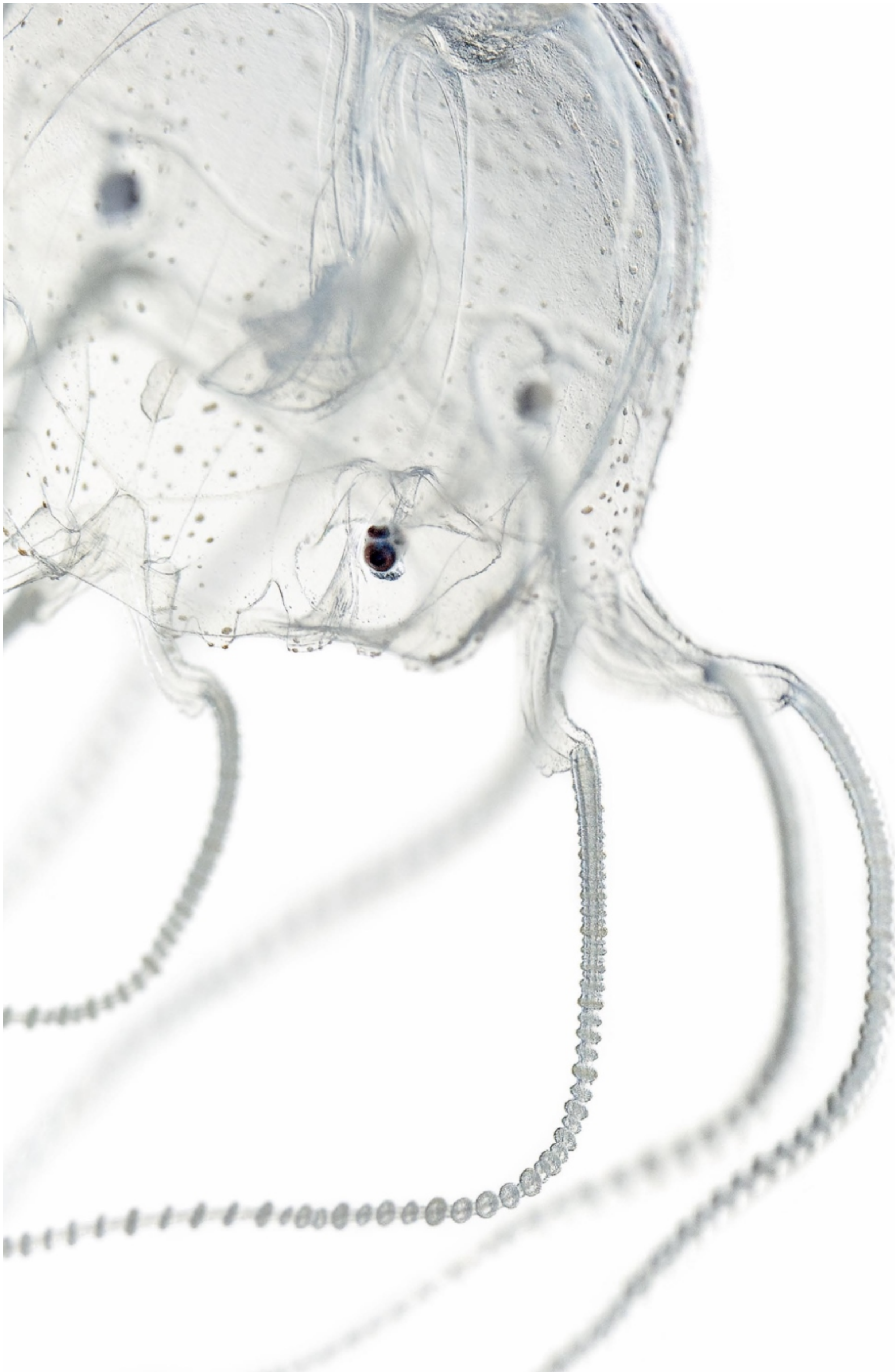
Ces créatures disposaient déjà d'yeux complexes. Nous n'avons aucune trace de leurs précurseurs, plus simples. L'étude des fossiles ne nous dit pas comment des animaux aveugles ont soudain pu voir leur environnement.

Voilà un mystère qui troublait Charles Darwin. « Supposer que l'œil, avec tous ses dispositifs inimitables [...], pourrait avoir été formé par sélection naturelle, semble, je l'avoue sans mal, absurde au plus haut degré », écrit-il dans *L'Origine des espèces* (traduction de Thierry Hoquet, Seuil, 2013). Mais il fournit la solution dès la phrase suivante : *(suite page 39)*



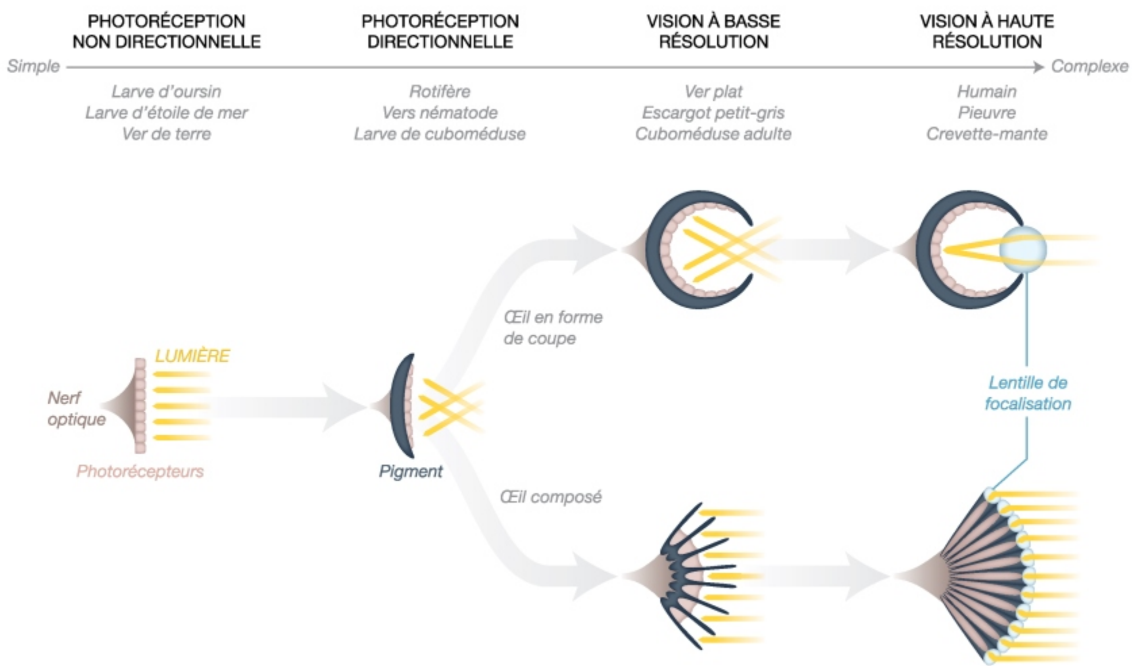
SIX YEUX À TOUT FAIRE Cette cuboméduse *Tripedalia cystophora* de 10 mm de diamètre possède vingt-quatre yeux, logés dans quatre rhopalies (zones abritant des organes sensoriels). Quatre des six yeux de chaque rhopalie (à gauche) sont de simples photorécepteurs mais, dans les deux autres, un cristallin concentre la lumière. L'œil supérieur est maintenu dirigé vers le haut pour repérer le couvert de la mangrove, là où la méduse peut se nourrir et s'abriter.

PHOTOGRAPHIÉ AU LABORATOIRE DE L'ÉVOLUTION OAKLEY, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SANTA BARBARA. SOURCE DE L'INFOGRAPHIE : DAN-ERIC NILSSON



L'ÉMERGENCE DES YEUX

La diversité des yeux chez les animaux montre comment la sélection naturelle peut changer une structure simple réagissant à la lumière en un œil composé de multiples parties travaillant de concert. À l'université de Lund, en Suède, Dan-Eric Nilsson distingue quatre stades dans le développement de l'œil. Une évolution qui pourrait prendre en théorie moins d'un demi-million d'années.



LES TÂCHES VISUELLES

Les organismes détectant la lumière mais pas sa provenance peuvent réguler leurs rythmes circadiens et réagir aux ombres.

Les animaux avancent vers la lumière ou s'en éloignent pour orienter leur corps et déclencher des réactions face aux prédateurs.

Un organisme doté d'une vue à basse résolution peut détecter ses propres mouvements, éviter des objets, trouver un habitat favorable.

Les yeux très perfectionnés aident à des tâches complexes : choisir des partenaires, reconnaître proies et prédateurs…

LES ADAPTATIONS

Avancée cruciale : avec l'apparition de quelques cellules photoréceptrices, des organismes simples peuvent réagir à la lumière.

En développant un pigment qui fait en partie écran aux photorécepteurs, les organismes peuvent détecter la direction de la lumière.

Des yeux en forme de coupe dotés de plus de récepteurs (ou de plus de cupules) peuvent former des images rudimentaires.

Les structures évoluées (iris, cristallin, cornée…) dirigent la lumière vers les photorécepteurs pour obtenir une vision à haute résolution.

INFOGRAPHIE : JASON TREAT ET RYAN WILLIAMS, ÉQUIPE DU NGM. SOURCE : DAN-ERIC NILSSON



YEUX MASCULIN/FÉMININ
Euphilomedes morin est un crustacé minuscule. Le mâle (en haut) a deux yeux composés – la tache brune – pour repérer les prédateurs dans d'eau. La femelle (en bas), qui reste le plus souvent enterrée dans le sable, n'a pas d'yeux composés. Et les deux sexes disposent d'un œil simple pour distinguer le haut du bas.

COMPOSITE DE QUATRE IMAGES ; PHOTOGRAPHIÉ AU LABORATOIRE DE L'ÉVOLUTION OAKLEY, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À SANTA BARBARA.

(suite de la page 35) « Cependant, la raison me dit que si l'on peut montrer qu'il existe de nombreuses gradations depuis un œil parfait et complexe jusqu'à un œil très imparfait et simple, chaque degré étant utile à son possesseur ; si, de plus, l'œil varie tant soit peu et que les variations sont héritées, ce qui est certainement le cas, et si toute variation ou modification dans l'organe peut éventuellement être utile à un animal sous des conditions changeantes de vie, alors notre difficulté à croire qu'un œil parfait et complexe peut être formé par sélection naturelle, bien qu'insurmontable pour notre imagination, ne peut plus être considérée comme réelle. »

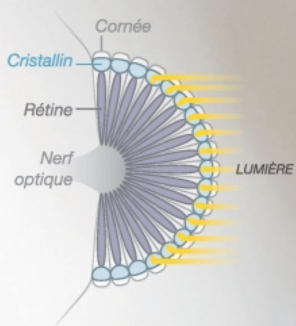
De fait, des animaux actuels illustrent chaque étape intermédiaire possible entre les taches photosensibles primitives du ver de terre et les yeux perçants de l'aigle. Nilsson a même montré que les premières pouvaient devenir les seconds.

Le zoologiste a réalisé une simulation en laboratoire. Elle commence par une petite plaque de cellules vivantes photosensibles pigmentées. À chaque génération d'une année, la plaque épaissit. Elle s'arrondit lentement, passant d'une forme de feuille à une forme de coupe. Puis elle acquiert un cristallin grossier, qui s'améliore peu à peu. Même avec les hypothèses les plus pessimistes, en comptant que l'œil ne progresse que de 0,005 % par génération, il ne faudrait que 364 000 ans à la simple plaque pour devenir un organe pleinement fonctionnel, comparable à un appareil photo. Un clin d'œil, en termes d'évolution.

Toutefois, les yeux simples ne sont pas qu'une étape. Ils répondent aux besoins des utilisateurs. Chaque bras de l'étoile de mer est doté d'un œil, qui ne perçoit ni les couleurs, ni les détails, ni les objets rapides. Mais elle ne chasse pas des lapins en pleine course. Elle a besoin de repérer les récifs coralliens pour rentrer tranquillement chez elle. Ses yeux en sont capables. Pas besoin d'élaborer de mécanisme plus performant.

« Au cours de l'évolution, les yeux ne sont pas passés de la médiocrité à la perfection, souligne Nilsson. Ils sont passés de l'exécution parfaite de quelques tâches simples à l'exécution excellente d'un grand nombre de tâches complexes. » Le zoologue suédois a intégré ce concept dans un modèle qui retrace l'évolution de l'œil en quatre étapes. Chaque stade se définit, non par ses structures physiques, mais par ce qu'il permet aux animaux de faire.

Première étape : mesurer l'intensité de la lumière ambiante, pour évaluer le moment de la journée ou la profondeur *(suite page 44)*



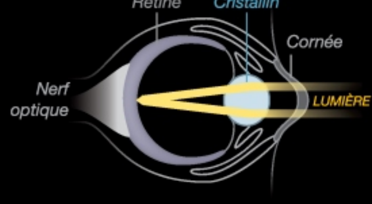
YEUX DE MOUCHE Les yeux composés ont évolué rapidement, il y a plus de 500 millions d'années. L'œil d'un arthropode fossilisé découvert en Australie (à droite) aurait pu voir même dans la pénombre grâce à ses 3 000 lentilles. « C'est incroyable de constater à quel point il ne s'est plus passé grand-chose depuis », observe Dan-Eric Nilsson. Une mouche moderne (*Sarcophaga crassipalpis,* ci-dessous) voit aussi grâce à ses milliers de lentilles.

COMPOSITE DE 30 IMAGES ; PHOTOGRAPHIÉ AU CENTRE SCIENTIFIQUE DU MUSÉUM D'AUSTRALIE DU SUD, À ADÉLAÏDE (FOSSILE). SOURCE DE L'INFOGRAPHIE : DAN-ERIC NILSSON





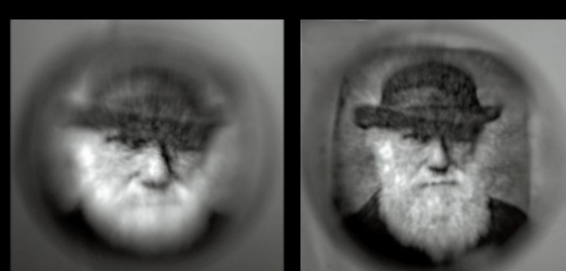




À CHAQUE ŒIL SON RÔLE L'œil gauche du calmar *Histioteuthis heteropsis* (ci-dessus) est deux fois plus gros que l'œil droit. Il regarde vers le haut pour repérer les proies dans la lumière venant de la surface. L'œil plus petit (invisible ici) scrute la pénombre en dessous pour détecter proies et prédateurs bioluminescents.

PHOTOGRAPHIÉ À BORD DU *WESTERN FLYER*, INSTITUT DE RECHERCHE DE L'AQUARIUM DE LA BAIE DE MONTEREY (CI-DESSUS) ; ALISON SWEENEY, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE (MÉDAILLONS).
SOURCE DE L'INFOGRAPHIE : DAN-ERIC NILSSON





DARWIN VU PAR UN CALMAR
Parmi les outils des animaux aquatiques dotés d'yeux de type appareil photo figure un cristallin dont la densité de tissu varie et qui améliore la vision sous l'eau. Ci-contre, Charles Darwin tel qu'il pourrait apparaître à un calmar avec cette correction (à droite) et sans elle.

(suite de la page 39) où se situe l'animal dans l'eau. Un unique photorécepteur y suffit. L'hydre, une cousine de la méduse, ne possède pas d'yeux. Mais son corps est équipé de photorécepteurs qui commandent ses cellules urticantes, peut-être pour réagir aux ombres créées par le passage de victimes potentielles.

Deuxième étape : les photorécepteurs gagnent une protection (en général, un pigment foncé). Ce pigment bloque la lumière issue de certaines directions. Les animaux savent ainsi d'où elle vient. Cette représentation à un seul pixel n'est pas encore une véritable vision. Elle suffit toutefois à s'approcher d'une source lumineuse ou de s'en éloigner afin de gagner un refuge sombre.

Troisième étape : dorénavant dotés d'un bouclier, les photorécepteurs forment des groupes, et chaque groupe s'oriente de façon légèrement différente. L'animal peut alors assimiler des informations sur la lumière venue de plusieurs directions et se forger une image de son environnement. À cette étape, la détection de lumière devient réellement la vision, et les faisceaux de photorécepteurs deviennent de véritables yeux. De quoi trouver un habitat adapté (pour l'étoile de mer) ou éviter les obstacles (cuboméduse).

Quatrième étape : c'est ici que l'évolution des yeux – et de leurs porteurs – décolle vraiment. Le cristallin apparaît : cette lentille concentre la lumière. La vision devient nette et détaillée.

« Quand on arrive à la quatrième étape, la liste de tâches est infinie », souligne Nilsson. Cette flexibilité fut peut-être l'une des étincelles qui provoquèrent l'explosion cambrienne. Tout à coup, les confrontations entre prédateurs et proies (jusqu'alors limitées à renifler, goûter et toucher de très près) purent se dérouler à distance. Une sorte de course aux armements s'engagea : les animaux se mirent à grossir, à devenir plus mobiles, à développer des coquilles défensives, des épines dorsales, des cuirasses.

Les animaux et leurs yeux ont évolué en parallèle. Toutes les structures élémentaires de la vision qui existent aujourd'hui étaient déjà présentes au Cambrien. Mais leur élaboration a suivi des chemins extraordinairement variés, et toujours pour réaliser des tâches spécialisées. Le mâle de l'éphémère semble avoir un énorme œil composé, collé au-dessus d'un plus petit : le premier sert à repérer dans le ciel les silhouettes des femelles en vol. Le quatre-yeux, un poisson, a scindé ses deux yeux : une moitié demeure au-dessus de la surface, scrutant le ciel, l'autre guette proies et menaces dans l'eau.

Et l'œil humain ? Il est plutôt rapide, décèle bien les contrastes, et seuls les rapaces bénéficient d'une meilleure résolution. Bref, un bon œil multitâche pour l'animal le plus polyvalent.

Les yeux ont-ils évolué en une seule fois ou à de nombreuses reprises ? Ernst Mayr, biologiste de l'évolution allemand, affirmait que les yeux avaient entre quarante et soixante-cinq origines indépendantes. Il s'appuyait sur leur grande diversité de formes. Walter Gehring, biologiste du développement suisse, penchait pour une évolution unique. Il avait découvert qu'un même gène, Pax6, commande le développement de l'œil chez presque toutes les créatures.

Les deux hommes avaient raison. Les yeux véritables de la troisième étape ont effectivement évolué en plusieurs fois à partir de leurs précurseurs plus simples de la deuxième étape. Par exemple, la cuboméduse a développé les siens indépendamment des mollusques, des vertébrés et des arthropodes. Mais les systèmes optiques de tous ces organismes sont des développements des mêmes détecteurs de lumière rudimentaires de la première étape.

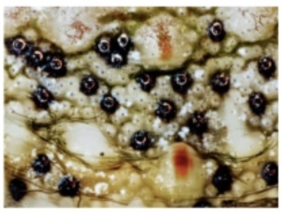
Tous les yeux de tous les êtres vivants utilisent les mêmes éléments de base : les opsines (des protéines qui constituent la base moléculaire de tous les yeux) et les chromophores (des molécules capables d'absorber l'énergie d'un photon). Les opsines travaillent toujours en association avec un chromophore.

Comment ? Un photon arrive. Le chromophore en absorbe l'énergie et, rapidement, se déforme en conséquence. L'opsine qui lui est associée est alors obligée de se déformer à son tour. Cette transformation engendre toute une série de réactions chimiques, qui se termine par un signal électrique.



YEUX SUR COQUILLE Le chiton crépu, un mollusque marin, abrite des centaines de micro-yeux sur sa coquille. Chaque œil a sa lentille, sa rétine et sa couche pigmentaire. Le chiton fabrique l'aragonite minérale de ses lentilles à partir du calcium et du carbonate de l'eau de mer.

CI-DESSOUS : AGRANDISSEMENT DE LA ZONE DÉLIMITÉE À DROITE (COMPOSITE DE 13 IMAGES). PHOTOGRAPHIÉ AU LABORATOIRE SPEISER DE PHYSIOLOGIE ÉVOLUTIONNISTE, UNIVERSITÉ DE CAROLINE DU SUD (LES DEUX)



Il existe des milliers d'opsines différentes, mais toutes appartiennent à la même famille. Il y a quelques années, Megan Porter, aujourd'hui à l'université de Hawaii à Manoa, a comparé les séquences de presque 900 gènes qui codent ces protéines dans l'ensemble du règne animal. Conclusion : toutes les opsines sont nées d'un ancêtre commun, puis se sont diversifiées en un gigantesque arbre généalogique.

La mère de toutes les opsines n'a pas surgi du néant. L'évolution a improvisé les premières opsines à partir de protéines qui fonctionnaient moins comme un capteur de lumière que comme une horloge. Ces protéines se fixaient à la mélatonine, une hormone qui régule l'horloge biologique de vingt-quatre heures chez beaucoup d'organismes. Puisque la mélatonine est détruite par la lumière, s'il n'y en a plus, c'est peut-être que les premiers rayons de l'aube arrivent. Bien sûr, on ne peut recourir qu'une seule fois à cet indicateur. Une créature qui sent l'aube arriver grâce à la mélatonine doit en recréer sans cesse.

Les chromophores couplés aux opsines ne posent pas ce problème. S'ils changent de forme en absorbant la lumière, ils peuvent facilement revenir en arrière. Résultat, quand les protéines liées à la mélatonine (les ancêtres des opsines) ont muté, elles sont soudain devenues des capteurs de lumière réutilisables. Les premières opsines étaient nées. Elles étaient si efficaces que l'évolution n'a jamais rien trouvé de mieux. Par la suite, elle s'est contentée de créer des variations sur ce même thème.

Les choses sont différentes pour les autres composants de l'œil. Prenez le cristallin. Il est presque toujours composé de cristallines, des protéines qui améliorent la vision en concentrant la lumière sur les photorécepteurs. Au contraire des opsines, les cristallines n'ont en commun que le nom. Des groupes d'animaux différents ont développé leur propre type de cristallines de façon indépendante, en récupérant des protéines ayant des rôles très divers, sans rapport avec la vision. Mais toutes étaient stables, faciles à stocker et capables de fléchir la lumière – l'idéal pour former le cristallin.

Les lentilles les plus étranges de la nature n'ont pas du tout de cristallines. Ce sont celles du chiton (ci-dessus), un mollusque marin à la coquille ovale, formée de plaques articulées. Ces plaques sont parsemées de centaines de petits yeux de la troisième étape, avec chacun sa propre lentille. Les lentilles sont composées d'un minéral, l'aragonite, que les chitons assemblent à partir de molécules de calcium et de carbonate

L'ŒIL DE L'OBSERVATEUR

Impossible de simuler exactement la vision d'un animal. Notre photographe a cependant tenté de la reconstituer en utilisant des données scientifiques (densité de photorécepteurs, réactions à la lumière…) et sa trousse à outils.

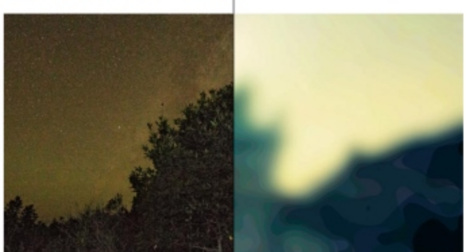
Vision humaine ◂ | ▸ Vision animale



Ver plat
Dugesia dorotocephala
Les yeux du ver plat sont composés de cupules de cellules photoréceptrices, qui déterminent d'où provient la lumière. Un indice nécessaire au ver pour identifier un habitat approprié, à l'abri du soleil.



Cuboméduse
Tripedalia cystophora
Faute de cerveau pour traiter les données sensorielles, la cuboméduse ne réagit qu'à des images simples. Quatre yeux à lentilles regardent vers le haut et les ombres de la mangrove, et quatre vers le bas, à travers son corps translucide, afin d'éviter les obstacles situés sous elle.



Grand sphinx de la vigne
Deilephila elpenor
Les larges pupilles du papillon laissent pénétrer beaucoup de lumière. Il peut ainsi distinguer les couleurs même à la faible luminosité des étoiles d'une nuit sans lune, et dénicher du nectar dans des fleurs dont l'œil humain est incapable de détecter les couleurs pendant la nuit.



Chat domestique
Felis catus
L'œil du chat a plus de bâtonnets sensibles aux faibles intensités lumineuses que l'œil humain. Ses pupilles fendues s'ouvrent largement dans l'obscurité, lui permettant de chasser la nuit. Mais il possède moins de cônes sensibles à la couleur, et ne distingue pas le vert du rouge.



Pygargue à tête blanche
Haliaeetus leucocephalus
Le pygargue possède une résolution oculaire exceptionnellement élevée (2,5 fois celle des yeux humains). Une région de la rétine humaine présente une forte densité de récepteurs, mais les pygargues disposent de deux zones de ce type. Ils peuvent ainsi voir devant et sur le côté.

ILLUSTRATION : JASON TREAT ET RYAN WILLIAMS, ÉQUIPE DU NGM
SOURCE : DAN-ERIC NILSSON



VOYEUR NOCTURNE
Les yeux du grand sphinx de la vigne (*Deilephila elpenor*), un papillon nocturne, captent la moindre luminosité. Même à la faible lumière des étoiles, il peut distinguer les couleurs des fleurs porteuses de nectar.

PHOTOGRAPHIÉ AU LABORATOIRE WARRANT, GROUPE D'ÉTUDE SUR LA VISION DE LUND, UNIVERSITÉ DE LUND

présentes dans l'eau de mer. Autrement dit, cet animal a élaboré un moyen d'affiner sa vision en regardant à travers une roche. Quand leurs lentilles minérales s'érodent, les chitons en fabriquent tout simplement de nouvelles.

Les opsines, le cristallin et tous les autres composants de l'œil témoignent du bricolage improvisé de l'évolution. Celle-ci invente sans cesse de nouvelles fonctions pour des matériaux déjà existants, et fabrique des structures complexes à partir de structures simples.

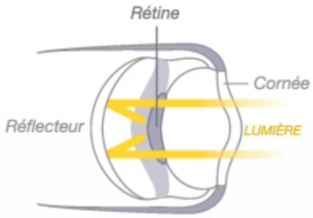
Mais l'évolution ne prévoit rien. Quand elle s'engage sur une voie, elle ne peut plus repartir à zéro. C'est pourquoi ses œuvres sont toujours entachées d'imperfections. Dan-Eric Nilsson n'est guère impressionné par les yeux à facettes. Leur structure, composée de nombreuses unités répétitives, limite inéluctablement la résolution visuelle. Pour qu'une mouche voie avec la même résolution qu'un humain, son œil devrait mesurer 1 m de diamètre.

« Les insectes et les crustacés ont prospéré malgré leurs yeux composés, et non pas grâce à eux, remarque Dan-Eric Nilsson. Ils se seraient bien mieux débrouillés avec des yeux de type appareil photo. Mais l'évolution ne l'a pas compris. L'évolution n'est pas intelligente. »

« Les yeux des insectes ont une résolution temporelle beaucoup plus rapide, nuance Eric Warrant, également de l'université de Lund. Deux mouches peuvent se pourchasser à une vitesse phénoménale, et voir jusqu'à trois cents éclairs lumineux par seconde. Nous, nous avons de la chance si nous en voyons cinquante ! »

L'œil de la libellule lui offre un champ visuel à quasiment 360°. Quant au grand sphinx de la vigne (ci-dessus), ses yeux sont si sensibles qu'il perçoit encore les couleurs à la seule lumière des étoiles. « À certains égards, notre vision est meilleure, mais, à maints égards, elle est moins bonne, estime Eric Warrant. Aucun œil n'est plus performant sur tous les plans. »

Les yeux humains, qui marchent comme un appareil photo, ont leurs propres problèmes. Exemple : notre rétine est conçue à l'envers. Les photorécepteurs se situent derrière un lacis de neurones, comme si on plaçait les fils électriques d'un appareil photo devant l'objectif. Le faisceau de fibres nerveuses doit aussi passer à travers un trou dans la couche des photorécepteurs pour gagner le cerveau. C'est pourquoi nous avons un point aveugle. Ces défauts n'ont aucun avantage : ce ne sont que des bizarreries de l'histoire de notre évolution. *(suite page 52)*

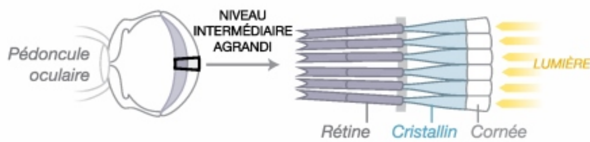


PÉTONCLE AUX YEUX BLEUS Jusqu'à cent yeux ornent le manteau d'*Argopecten irradians,* une espèce de pétoncle. Chacun d'entre eux comporte une couche réfléchissante qui agit comme une lentille de focalisation et double les chances de capturer la lumière extérieure.

SOURCE DE L'INFOGRAPHIE : DAN-ERIC NILSSON







COULEURS PROFONDES *Odontodactylus scyllarus,* une crevette-mante, possède douze récepteurs de couleurs (trois chez l'humain). Ses yeux bougent et perçoivent la profondeur indépendamment l'un de l'autre, et distinguent les infrarouges et les ultraviolets.

PHOTOGRAPHIÉE AU LABORATOIRE CALDWELL, DÉPARTEMENT DE BIOLOGIE INTÉGRATIVE, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À BERKELEY. SOURCE DE L'INFOGRAPHIE : JUSTIN MARSHALL, UNIVERSITÉ DU QUEENSLAND, AUSTRALIE





(suite de la page 47) Nous avons élaboré des moyens de contourner les problèmes. Notre rétine recèle de longues cellules qui jouent le rôle de fibres optiques, en canalisant la lumière à travers les neurones, vers les photorécepteurs. Et notre cerveau est capable de compléter les détails manquants du point aveugle.

Mais il y a des problèmes que nous ne savons pas éviter. Par exemple, il arrive que notre rétine se décolle du tissu sous-jacent, entraînant la cécité. Cela n'arriverait pas si les neurones se trouvaient derrière les photorécepteurs et les maintenaient en place. Comme chez la pieuvre et le calmar. L'évolution ne suit pas de projet. Elle improvise au fur et à mesure.

Et elle fait parfois demi-tour. La complexité des yeux s'accorde aux besoins : si ces besoins régressent, les yeux aussi. La plupart des oiseaux et des reptiles voient la couleur grâce à quatre types de photorécepteurs en cônes, dont chacun possède une opsine sensible à une couleur différente. Mais les mammifères descendent d'un ancêtre nocturne qui avait perdu deux de ces cônes (sans doute parce que la vision des couleurs est moins importante la nuit, et parce que les cônes sont plus efficaces en plein jour).

La plupart des mammifères continuent à voir le monde à travers une palette limitée. Les chiens ne possèdent que deux cônes – l'un sensible au bleu, et l'autre, au rouge. Mais des primates ont en partie compensé cette perte en développant un nouveau cône sensible au rouge. C'est ainsi qu'un monde de rouges et d'oranges auparavant invisible s'est ouvert à nos ancêtres, qui ont alors peut-être pu distinguer les fruits mûrs des fruits verts. Les mammifères marins, eux, ont délaissé le cône bleu en devenant aquatiques. Nombre de baleines ont aussi perdu le cône rouge. Elles n'ont que des photorécepteurs en bâtonnets, excellents pour percer les ténèbres des grands fonds, mais inutiles pour voir la couleur.

Si les avantages de la vue se réduisent à zéro, certains animaux perdent les yeux, comme le tétra aveugle, un petit poisson d'eau douce. Au Pléistocène, quelques-uns nagèrent dans des grottes profondes, où les yeux étaient inutiles. Leurs descendants cavernicoles devinrent aveugles, et l'ancien emplacement des yeux s'est recouvert de peau. Ces dégénérescences se sont produites parce que l'élaboration et la conservation des yeux nécessitent beaucoup d'énergie.

Voilà pourquoi les animaux n'ont pas d'yeux supérieurs à leurs besoins, et les perdent facilement s'ils n'en ont plus l'usage. Gaspiller de l'énergie sur un système sensoriel inutile mène droit à l'extinction. Les yeux témoignent à la fois de la créativité infinie de l'évolution et de son sens implacable de l'économie.

À l'université du Maryland, Tom Cronin scrute un aquarium où le fixent deux yeux composés évoquant des muffins montés sur tiges. « M. Exorbité », comme l'appelle Cronin, est une crevette-mante à la robe kaléidoscopique – pêche, blanc, vert et rouge sang. Ses bras se terminent par des marteaux impressionnants, qui se déploient à une telle vitesse et avec une telle force qu'ils sont capables de briser des coquillages ou la vitre d'un aquarium.

Les yeux de la crevette-mante sont chacun divisés en trois sections distinctes, mais qui se concentrent sur le même espace étroit. Cela permet à un seul œil de percevoir la profondeur. Il distingue également les ultraviolets (invisibles pour nous) et la lumière polarisée. Tom Cronin a aussi découvert que la crevette-mante possède douze types de récepteurs de couleur (l'humain en a trois), chacun sensible à une teinte.

Pendant des années, les scientifiques ont donc supposé que la crevette-mante détectait des différences infimes entre les couleurs. Mais, en 2013, Hanne Thoen (université du Queensland, Australie) a présenté à des crevettes-mantes des fibres optiques affichant des teintes différentes, et les récompensait par de la nourriture si elles en attaquaient une en particulier. Puis elle a rapproché les couleurs jusqu'à ce que les animaux ne puissent plus les distinguer. Conclusion : les crevettes ne distinguent même pas des différences évidentes pour nous.

Alors, à quoi servent tous ces récepteurs ? Hanne Thoen pense qu'ils s'apparentent à l'adresse du boxeur. Notre rétine traite un



RECORD DU MONDE DE L'ŒIL
Le calmar géant *Architeuthis dux* possède le plus gros œil du monde : 17 cm pour l'exemplaire ci-contre, mais on en a trouvé de 30 cm. Il lui permet peut-être de distinguer le scintillement du zooplancton bioluminescent au passage du cachalot – l'ennemi juré du calmar.

PHOTOGRAPHIÉ AU MUSÉUM NATIONAL D'HISTOIRE NATURELLE DE LA SMITHSONIAN INSTITUTION

beaucoup d'informations visuelles, ajoute et soustrait des données transmises par les cônes avant de les envoyer au cerveau. Il est possible que la crevette-mante, elle, transmette les réponses de ses douze récepteurs de couleurs directement à son cerveau. Celui-ci comparerait alors les données brutes avec une sorte de grille de correspondance des diverses couleurs. La crevette-mante n'est pas douée pour différencier des couleurs entre elles, mais sait peut-être très bien les reconnaître individuellement. Ce qui pourrait l'aider à prendre les décisions rapides indispensables à ses attaques éclair.

Cette hypothèse laisse Tom Cronin sceptique. De retour dans son laboratoire, il trempe une pipette dans une boîte de Petri renfermant une crevette-mante plus petite, qui ne mesure que quelques centimètres de long. Elle suit l'objet intrus des yeux, puis riposte. Le coup est assez puissant pour produire un craquement audible, comme un claquement de doigt. « La bestiole a réfléchi longtemps avant de frapper. Ce n'est pas une décision qu'elle prend comme ça, souligne Tom Cronin en claquant des doigts. Reste la question : à quoi tout cela sert-il ? »

Cette question, Dan-Eric Nilsson se la pose encore, lui aussi. Il ne suffit pas de connaître la structure des yeux de la crevette-mante, les gènes impliqués, ou les signaux neuraux envoyés au cerveau. En fin de compte, pour comprendre pourquoi ces yeux sont tels qu'ils sont, nous devons savoir à quoi ils servent. À communiquer ? À attraper rapidement des proies ? À mieux percevoir la profusion de couleurs des récifs coralliens ? Voici la vérité sur les yeux des animaux : nous ne pouvons comprendre leur évolution qu'en apprenant à voir le monde extérieur à travers eux. ☐

1	2	3	4
5	6	7	8
9	10	11	12
13	14	15	

Pages 30-31
À qui appartiennent ces yeux ?
1 Bucorve du Sud *(Bucorvus leadbeateri)* ; **2** Ara rouge *(Ara macao)* ; **3** Lynx roux *(Lynx rufus)* ; **4** Gecko géant cornu *(Rhacodactylus auriculatus)* ; **5** Rainette aux yeux rouges *(Agalychnis callidryas)* ; **6** Boa constricteur *(Boa constrictor imperator)* ; **7** Rainette de White *(Litoria caerulea)* ; **8** Loriquet à tête bleue *(Trichoglossus haematodus haematodus)* ; **9** Rhinocéros blanc *(Ceratotherium simum)* ; **10** Perroquet jaco *(Psittacus erithacus)* ; **11** Gecko-mousse *(Uroplatus sikorae)* ; **12** Autruche d'Afrique *(Struthio camelus)* ; **13** Python vert *(Morelia viridis)* ; **14** Caméléon panthère *(Furcifer pardalis)* ; **15** Humain *(Homo sapiens)*.





RENDRE LA VUE AUX AVEUGLES

Grâce aux progrès de la médecine, à de nouveaux traitements ou à des yeux artificiels, la fin de la cécité pourrait bientôt devenir une réalité.

Au Bengale-Occidental (Inde), Mahammad Ali Molla, âgé de 60 ans et devenu aveugle à 46 ans à cause d'une projection de sève dans les yeux, peut compter sur l'aide des membres de sa famille, dont son petit-fils (à droite).



EXAMEN OCULAIRE EN INDE
Des habitants des Sundarbans portent des lunettes d'essai pour un examen des yeux. L'équipe d'ophtalmologistes parcourt en bateau cette région émaillée de rivières pour aider à y réduire le nombre d'aveugles. L'Inde en compte plus de 8 millions.



Par David Dobbs
Photographies de Brent Stirton

Du jour où Christian Guardino est né, Elizabeth a su que quelque chose clochait avec les yeux de son fils. Ils tressautaient, tremblaient et se révulsaient, ne laissant voir que le blanc. L'un des deux louchait. Quand Elizabeth donnait à manger à Christian, au lieu de la regarder, il fixait la lumière la plus vive de son environnement – une lampe, ou le soleil s'ils étaient dehors.

Mauvais signe, le premier ophtalmologiste qui a examiné Christian l'envoya à un spécialiste de New York. Lequel a pratiqué un électrorétinogramme (ERG) : un minuscule capteur électrique qui mesure les réactions de la rétine à des flashes de lumière est placé sur l'œil. Si la rétine est saine, elle envoie par le nerf optique un signal électrique qui dessine sur le rouleau millimétré de l'appareil une profonde vallée, suivie d'un sommet très marqué. L'ERG de Christian n'a produit que des gribouillis.

Le médecin a annoncé à Elizabeth que son fils souffrait d'une maladie rétinienne, l'amaurose congénitale de Leber (ACL). Sa vue, déjà mauvaise, ne s'améliorerait jamais vraiment. Il n'y avait rien à faire. Christian verrait peu de chose du monde et, quand il aurait appris à se tenir debout, il marcherait toujours avec une canne.

Christian a bel et bien eu besoin d'une canne, et d'être guidé par sa mère. Puis, en 2012, à l'âge de 12 ans, il s'est rendu pour la première fois à l'Institut ophtalmologique Scheie, à l'université de Pennsylvanie. Et, en janvier dernier, c'est sans sa canne qu'il a traversé le bâtiment principal de l'Institut.

« Waouh ! », s'exclame-t-il, tandis que nous nous approchons de la porte tournante de la sortie. Elizabeth se tient en retrait. Son fils marche tout seul. Il ne marque aucun temps d'arrêt. Il s'engage calmement et n'hésite pas un instant quand un panneau de verre se referme sur ses pas, tandis qu'un autre s'ouvre devant lui. Puis il s'avance dans la lumière du soleil.

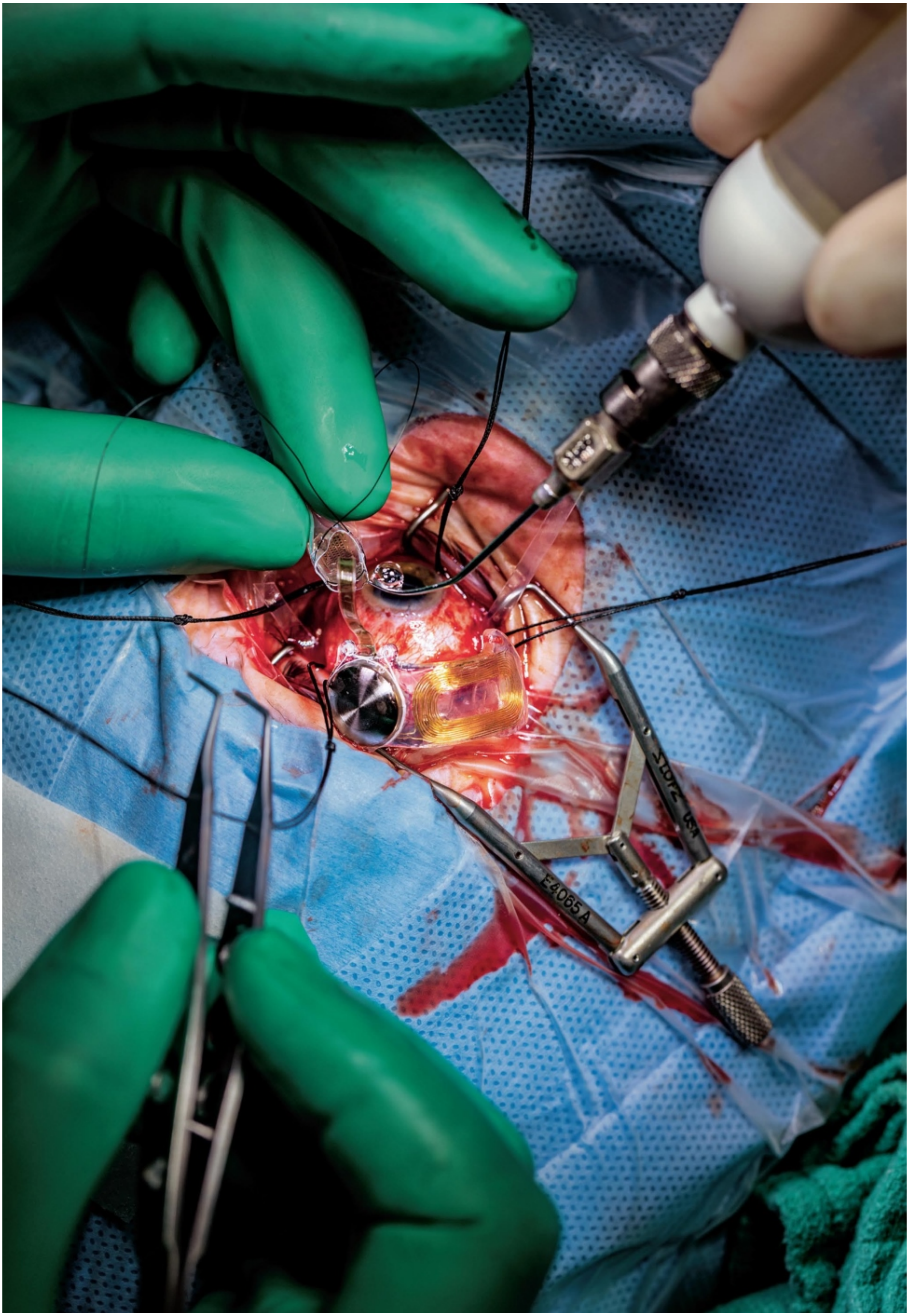
Christian Guardino peut voir. Tout ce qui constituait jusqu'alors un obstacle – la lumière comme l'obscurité, l'acier et le verre, les objets mouvants ou immobiles – lui est maintenant une source de plaisir.

« Je n'arrive pas à y croire », jubile Elizabeth quelques minutes plus tard. Christian marche devant elle, au côté de Jean Bennett, dont le laboratoire a produit la solution chargée de matériel génétique qui a donné la vue à son fils. « C'est arrivé si vite. »

À peine trois jours après le traitement de son premier œil, Christian a pu voir Elizabeth. « Je me demandais si mon fils verrait un jour à quoi je ressemble et, ma foi, dit-elle en le montrant en train de se mouvoir sans son aide, c'est un véritable miracle ! »

Ce miracle est le fruit du travail inlassable mené pendant vingt ans par Jean Bennett et son équipe. Il a fallu identifier la mutation génétique qui avait détérioré la rétine de Christian, et trouver comment introduire une bonne copie du gène dans son œil. La chercheuse a commencé les tests thérapeutiques en espérant seulement « détecter ne serait-ce qu'une infime amélioration ». Neuf ans plus tard, elle-même s'étonne d'un tel résultat. *(suite page 62)*

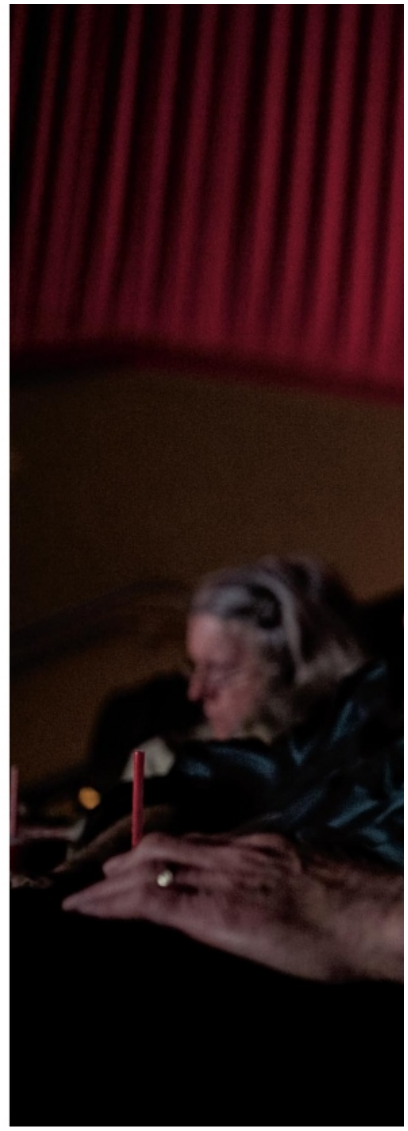
RENOUER LE LIEN Pose d'un implant au centre ophtalmologique de l'université Duke (États-Unis). Il enverra les données d'une caméra au cerveau, *via* le nerf optique.


E4065A



RÉAPPRENDRE À VOIR
Rhian Lewis, 50 ans, utilise une baguette pour interpréter les images que son implant rétinien envoie à son cerveau, sous le contrôle de Charles Cottriall, de l'hôpital ophtalmologique d'Oxford.





(suite de la page 58) Jean Bennett se garde bien de surévaluer son travail ou de sous-estimer les obstacles à de futures avancées. Mais, au vu des bienfaits pour Christian et d'autres patients, elle a bon espoir que l'approche simple consistant à remplacer des gènes puisse fonctionner pour diverses formes de cécité. Elle n'est pas la seule à penser que des variantes de cette technique pourraient bientôt aider à détecter et à corriger des défauts génétiques similaires assez tôt, peut-être même *in utero* – afin de prévenir ou de vaincre des troubles oculaires.

Depuis dix ans, des personnes aveugles ont pu voir au moins en partie grâce à des recherches dans deux autres domaines : les cellules souches et les implants biomédicaux – ou « bioniques ». Les cellules souches sont des cellules à un stade de développement précoce (avant qu'elles ne se différencient pour générer les yeux, le cerveau, les bras, les jambes). Elles laissent de plus en plus entrevoir la possibilité de remplacer ou de régénérer les cellules rétiniennes défectueuses à l'origine de nombreux cas de cécité. Et la première génération de rétines bioniques offre une vision à basse résolution à des gens qui ne voyaient rien. Ces micro-puces remplacent les cellules rétiniennes déficientes en captant ou en amplifiant la lumière.

Ces avancées laissent envisager une chose à peine concevable il y a tout juste dix ou vingt ans : la fin de la cécité chez l'homme, et à brève échéance. Est-ce un tant soit peu réaliste ? Certains collecteurs de fonds et avocats de ces nouvelles techniques en sont persuadés.

Sanford Greenberg, un homme d'affaires, a perdu la vue à cause d'un glaucome quand il était étudiant. Il a fondé End Blindness by 20/20, qui offre 3 millions de dollars en or à la personne ou aux personnes qui auront le plus contribué à supprimer la cécité d'ici la fin de la décennie. Le National Eye Institute américain finance massivement la recherche. L'Organisation mondiale de la santé et le programme Vision 2020 de l'Agence internationale pour la prévention de la cécité se sont fixé pour but d'« éliminer la cécité évitable d'ici l'an 2020 ».

Un optimisme que tempère Henry Klassen, qui mène des recherches sur les cellules souches à l'université de Californie à Irvine : « Vous voulez trouver rapidement des moyens de soigner les cas les plus difficiles ? Alors bonne chance, car ce ne sera pas du gâteau. »

La plupart des chercheurs partagent cet avis. Jean Bennett sait que la thérapie génique qui a donné la vue à Christian (mais n'a pas encore été reproduite ailleurs) se distingue en ce qu'elle arrive après une longue série de déceptions, de retards, voire de catastrophes. Elle a vu échouer d'innombrables projets de thérapie génique.

Dans un récent article, Jean Bennett a répertorié les obstacles considérables qui empêchent d'étendre son approche thérapeutique à d'autres causes génétiques de l'ACL. Prenons le gène (appelé RPE65) qu'elle a introduit dans l'œil de



UN AVEUGLE AU CINÉMA Dans un cinéma de Riverside, en Californie, Terry Byland (au centre) peut voir des formes sur l'écran grâce à un implant rétinien Argus II. De 2004 à 2010, il a aidé les chercheurs à perfectionner cet implant, qui est relié à une caméra montée sur des lunettes et à un processeur portable.

Christian. Ce gène s'adapte parfaitement sur le virus modifié (et bénin) utilisé pour l'insérer dans les cellules. Mais beaucoup d'autres gènes causant l'ACL sont trop gros pour ce vecteur.

En outre, l'essentiel des mutations délétères en rapport avec l'ACL causent des dégâts bien plus tôt dans la vie. Ou bien, elles apparaissent dans des régions de l'œil moins propices au remplacement des gènes. Ces mutations ne peuvent donc pas être traitées correctement avec les virus disponibles à l'heure actuelle.

De telles barrières ne tomberont pas du jour au lendemain. Pas plus que celles, assez similaires, qui concernent les cellules souches et les implants bioniques. La majorité des avancées seront durement acquises, et progressives. Plus d'un traitement miracle ne dépassera pas le stade des promesses. Quant au défi de mettre un terme aux formes de cécité déjà guérissables, c'est une tout autre question.

Dans le monde, près de 1 personne sur 200 est aveugle, soit 39 millions d'humains. Et 246 millions d'autres ont des capacités visuelles réduites. La perte de la vue affecte aussi des centaines de millions d'autres individus, souvent des parents qui consacrent une bonne partie de leur temps à aider ceux qui ne peuvent pas voir.

L'œil dans son entier est une « excroissance du cerveau », qui se forme telle une protubérance pendant le développement fœtal.

Ce fardeau justifierait à lui seul la recherche de nouveaux traitements. Cependant, si l'œil fait l'objet d'autant de recherches, c'est parce qu'il s'agit d'une partie du corps sûre et aisément accessible pour tester des traitements pouvant être utilisés dans d'autres parties.

Les chercheurs peuvent examiner directement l'œil pour voir ce qui cloche, et vérifier si un traitement marche. Et le patient peut dire tout de suite si sa vue s'améliore ou non – ce qui permet une évaluation rapide de la pertinence du traitement. L'œil offre également en retour des informations telles que la dilatation de la pupille ou une activité électrique dans le nerf optique. De plus, un chercheur soumettant un œil à un traitement expérimental peut en général utiliser l'autre œil comme organe témoin.

L'œil est aussi très résistant. À l'intérieur, le système immunitaire se restreint à tel point que l'œil semble à cet égard « privilégié ». Il tolère des envahisseurs qui pourraient causer de graves inflammations dans d'autres organes. Cela signifie qu'il offre une meilleure sécurité pour tester un traitement (telle la thérapie génique) qui pourrait faire des dégâts ailleurs.

Les neuroscientifiques adorent l'œil car, m'explique l'un d'eux, « c'est le seul endroit où l'on peut voir le cerveau sans percer un trou ». Visible à travers la pupille, la rétine est pour l'essentiel une cuvette de neurones reliée au cerveau par le nerf optique.

L'œil dans son entier est une « excroissance du cerveau », qui se forme telle une protubérance pendant le développement fœtal. Comme l'œil, le cerveau est « privilégié » sur le plan immunitaire. De ce fait, les traitements qui marchent sur l'œil peuvent tout de suite être étendus au cerveau ou à la moelle épinière.

Cette situation est d'autant plus avantageuse que les expériences actuelles centrées sur l'œil pourraient déboucher sur des traitements applicables à tout l'organisme. La thérapie génique laisse entrevoir la possibilité de réparer les gènes défectueux à l'origine de maladies de toutes sortes. Les cellules souches offrent la perspective de remplacer des structures tissulaires entières. Et les implants bioniques pourraient prendre la place des organes défaillants. L'œil devient une fenêtre ouverte sur les possibilités – et les limites – des approches thérapeutiques sur lesquelles parie la médecine pour l'avenir.

Imaginez une image tremblotante en noir et blanc, fortement contrastée et à faible résolution – comme sur les tout premiers téléviseurs, mais en pire –, et vous aurez une idée de ce que voit Rhian Lewis avec son œil bionique. Elle a 50 ans, vit à Cardiff (pays de Galles) et souffre d'une rétinopathie pigmentaire. Cette maladie génétique, due à la dégénérescence des photorécepteurs, rétrécit le champ visuel à un tunnel, qui finit lui aussi par disparaître.

La maladie a frappé Rhian Lewis quand elle se déplaçait encore à quatre pattes – elle n'allait jamais dans un couloir non éclairé. Un jour, elle s'est précipitée tête la première dans une clôture de barbelés. Elle est allée malgré tout à l'école et au lycée ; elle a tenu un bar ; puis, alors que son œil droit devenait totalement aveugle, elle a travaillé pendant vingt ans dans une librairie-papeterie, mémorisant chaque rayon, apprenant à reconnaître les stylos à leur forme. Depuis la fermeture de la librairie, elle a passé l'essentiel de son temps chez elle pour élever ses jumeaux, qui vont bientôt avoir 20 ans.

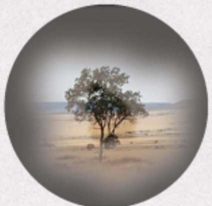
En juin 2015, à l'hôpital ophtalmologique d'Oxford, elle a passé dix heures sous anesthésie avant de se réveiller avec un œil bionique. Le chirurgien, Robert MacLaren, a glissé entre les fines couches de sa rétine une micro-puce de la taille d'une tache de *(suite page 70)*

Les maladies de l'œil

Bien des pathologies peuvent atteindre un œil et pas l'autre. Trois affections courantes et guérissables touchent la partie antérieure de l'œil. En revanche, il n'existe actuellement aucun traitement pour la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA), qui survient sur l'arrière de l'œil, près de la rétine.



Vision normale



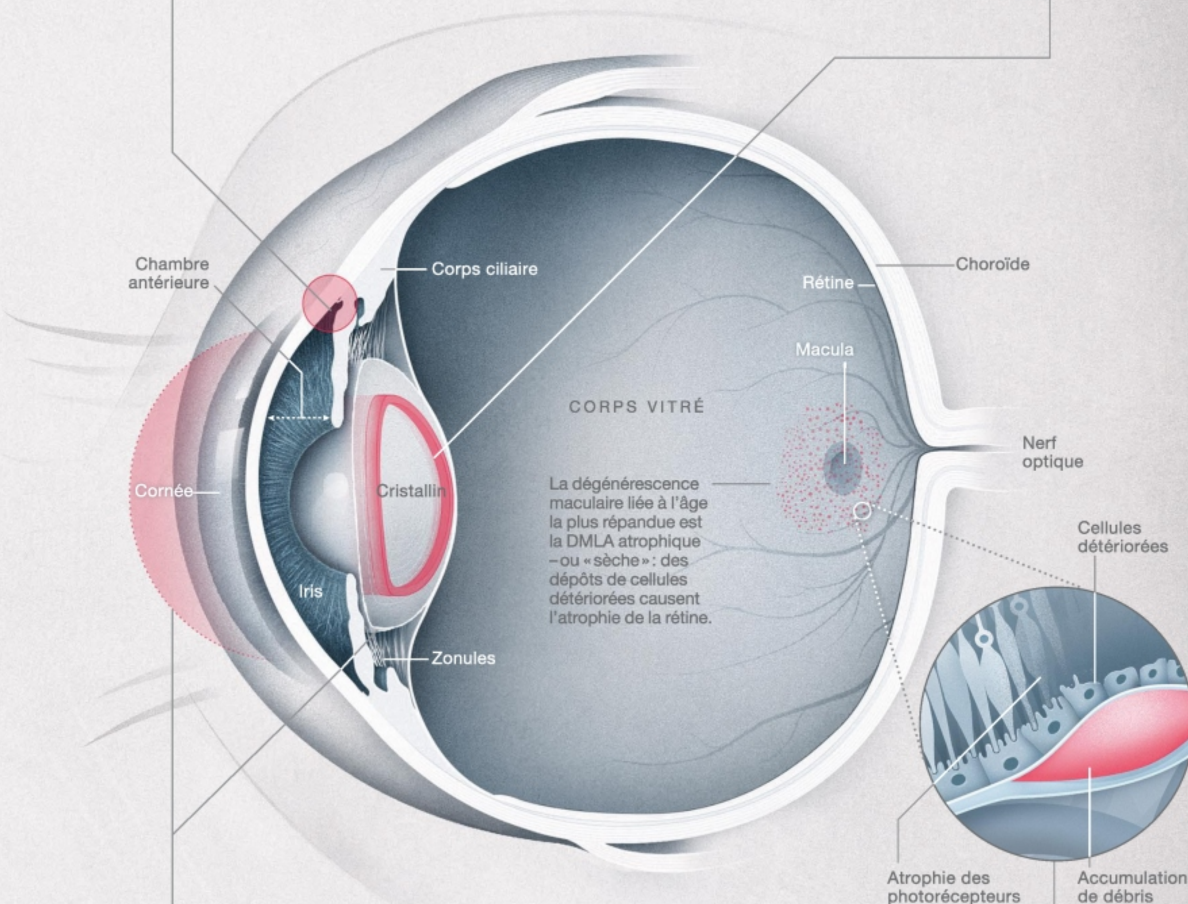
LE GLAUCOME

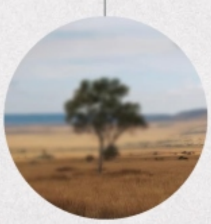
Des fluides s'accumulent dans l'œil et provoquent une pression susceptible d'endommager le nerf optique. Médicaments et chirurgie peuvent ralentir sa progression s'il est traité assez tôt.

LA CATARACTE

Première cause mondiale de la cécité, la cataracte est due à des agrégats de protéines dans le cristallin, qui dévient et occultent la lumière de la rétine. La chirurgie peut restaurer la vue.







LES ERREURS DE RÉFRACTION

Presbytie, myopie ou encore astigmatisme : ces erreurs empêchent l'œil de concentrer la lumière au bon endroit sur la rétine. Ce sont les premières causes de malvoyance.

LA DÉGÉNÉRESCENCE MACULAIRE LIÉE À L'ÂGE

La DMLA, due à l'altération des couches inférieures de la zone maculaire de la rétine, affecte les photorécepteurs qui traitent les images. Elle est incurable.



MANUAL CANALES, ÉQUIPE DU NGM ; PATRICIA HEALY. PHOTO : DESIGN PICS INC, NATIONAL GEOGRAPHIC CREATIVE ; ADAPTATION : ÉQUIPE DU NGM.
SOURCES : VISION LOSS EXPERT GROUP ; SILVIO PAOLO MARIOTTI, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ ; PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT

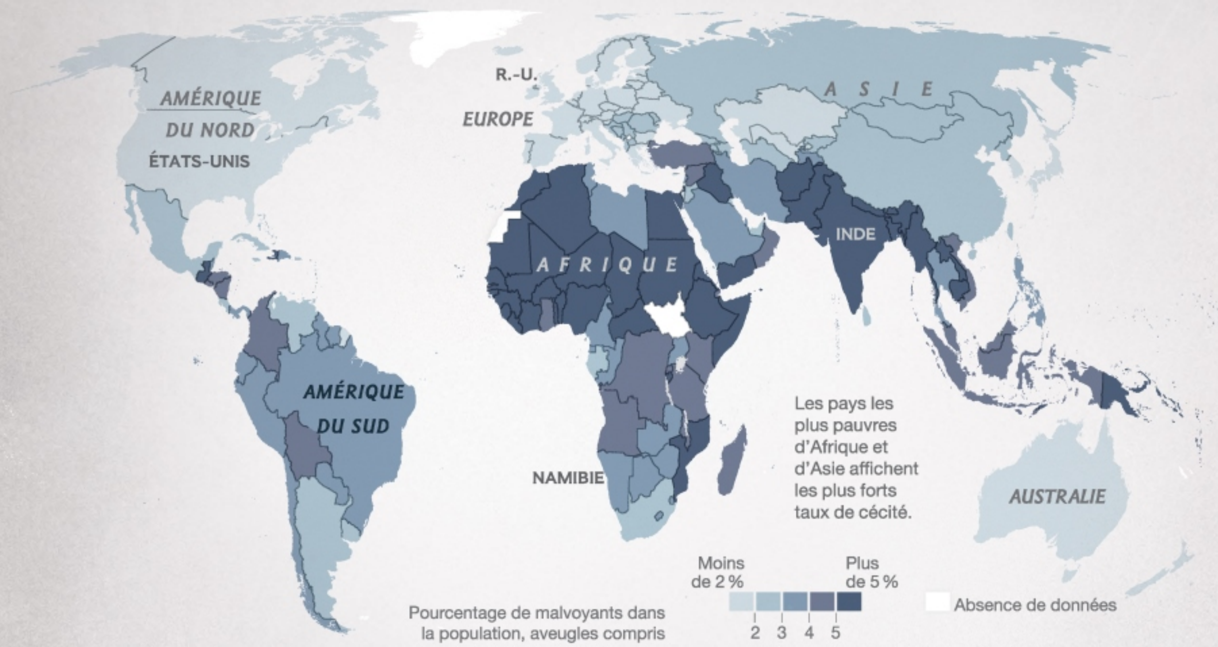


L'ÉCOLE POUR ÉCHAPPER AU DÉNUEMENT
Des élèves d'une école pour aveugles du Bengale-Occidental se rendent à leur cours d'éducation physique. Ils suivent une filière semi-professionnelle qui leur évitera le sort de nombreux aveugles en Inde : une vie passée à mendier dans les rues.


PEPSI

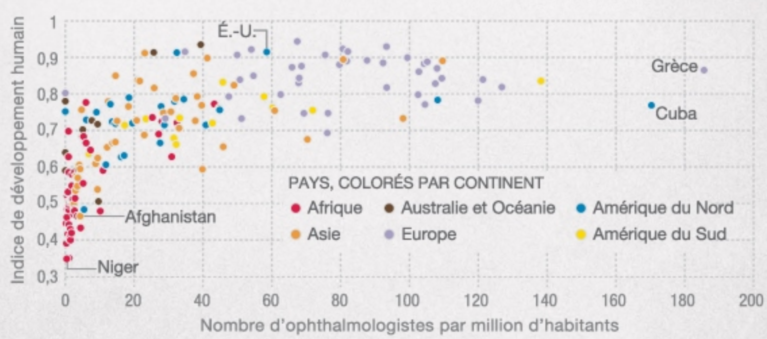
Où se trouvent les malvoyants ?

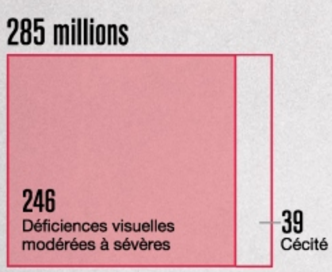
Les maladies oculaires touchent surtout les populations pauvres. Plus qu'un simple problème individuel, les troubles visuels (dont la cécité) constituent une question de société, qui peut largement affecter la productivité économique et l'accès à l'éducation.



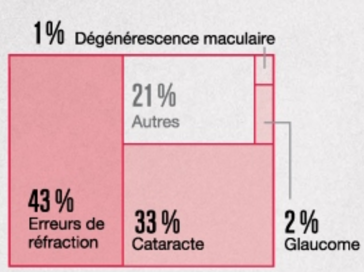
ACCÈS AUX SOINS : LE FOSSÉ ENTRE RICHES ET PAUVRES

L'inégalité en matière d'accès aux soins est évidente si l'on met en rapport, pour chaque pays, l'indice de développement humain avec le nombre d'ophtalmologistes par million d'habitants. L'Afghanistan compte 140 ophtalmologistes pour près de 33 millions d'habitants. Et il n'y a que 7 spécialistes des yeux pour 18 millions de Nigériens.

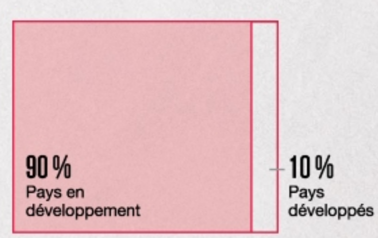




Environ 285 millions de personnes dans le monde souffrent de troubles visuels problématiques au quotidien – dont 39 millions d'aveugles.



La malvoyance est due à des maladies et à des facteurs tels que les malformations congénitales et l'âge. 80 % des cas sont traitables.



La plupart des déficients visuels vivent dans des pays en développement. Les troubles oculaires augmentent avec l'âge.

MANUAL CANALES ET MATTHEW W. CHWASTYK, ÉQUIPE DU NGM ; PATRICIA HEALY
SOURCES : VISION LOSS EXPERT GROUP ; SILVIO PAOLO MARIOTTI, ORGANISATION MONDIALE DE LA SANTÉ ; PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR LE DÉVELOPPEMENT



TRAITÉ TROP TARD
Gerd Gamanab a voulu se faire soigner, mais trop tard. Cinquante ans de travail de la terre dans la poussière et sous le soleil namibiens ont eu raison de ses cornées. Des soins réguliers auraient pu éviter cette issue.

L'équipe a allumé l'instrument. « Je ne pouvais pas y croire, se souvient Rhian Lewis. Soudain, oh mon Dieu !, il s'était passé quelque chose. »

(suite de la page 64) rousseur et muni de 1 600 photodiodes. Cet essai clinique vise à établir si la micro-puce, baptisée Alpha, peut remplacer les photorécepteurs morts au centre de la rétine de Rhian (l'appareil doit transformer la lumière en impulsions électriques, transmises au cerveau par le réseau neural existant).

Et puis l'équipe a allumé l'instrument. « Je ne pouvais pas y croire, se souvient Rhian. Soudain, oh mon Dieu !, il s'était passé quelque chose. »

Oui, mais quoi ? Son cerveau a interprété les signaux électriques, non pas comme des objets ou des scènes, mais comme des flashes et des chatoiements fortement contrastés. « Pas une image à proprement parler, dit-elle, juste une sorte de conscience d'une différence. »

Depuis, Rhian Lewis apprend à interpréter ces flashes de lumière. Des séances d'apprentissage régulières au laboratoire de MacLaren lui sont nécessaires. « Je déteste ça », dit-elle en riant. Mais Rhian Lewis a appris à reconnaître dans telle ou telle masse de lumière, en fonction de la forme, une personne ou un arbre. Elle distingue de mieux en mieux les contrastes. Elle peut lire le grand cadran fortement contrasté d'une montre à son poignet. La semaine avant ma visite, en faisant le tour d'Oxford avec l'équipe de MacLaren, elle a découvert que, pour la première fois depuis des années, elle pouvait distinguer les fenêtres d'un bâtiment.

Les progrès sont toutefois modestes. Rhian Lewis fait encore presque tout à tâtons, et avec la vue déclinante de son œil encore valide. Son œil bionique est difficile à utiliser. Le plus souvent, elle le laisse éteint.

De telles limites étaient prévisibles avec ces premiers prototypes, estime Eberhart Zrenner, le chirurgien ophtalmologiste allemand qui a mis en chantier l'Alpha il y a plus de vingt ans : « L'idée n'a jamais été de parvenir à une pleine vision, mais d'améliorer la capacité du patient à reconnaître des objets et à se mouvoir. » Il évoque un patient qui peut de nouveau lire son nom ; un autre qui a distingué pour la première fois le visage de sa fiancée « et l'a vue en train de rire ». Selon Zrenner, près de la moitié des vingt-neuf patients ayant reçu une version antérieure, similaire, de l'implant, l'ont trouvée très utile.

Même si le dispositif en restait à ce stade, l'image souvent inintelligible de la micro-puce constitue en soi une sorte de miracle, affirme Rhian Lewis : la lumière remplace l'obscurité. Un jour, son œil gauche cessera totalement de voir. Elle espère que son œil bionique (ou son successeur) lui permettra alors de continuer à faire tout ce qu'elle fait aujourd'hui.

« Ce qui me motive surtout, ce sont mes deux enfants », souligne-t-elle. Ils voient bien pour l'heure, mais la rétinopathie pigmentaire est héréditaire. « Tout ce que je peux faire maintenant aidera ceux qui viendront après nous. »

Le programme d'implants a prouvé que les photodiodes peuvent se substituer aux photorécepteurs naturels (une grande avancée), et que les patients peuvent apprendre à interpréter des stimulus visuels sous des formes inédites, assure Robert MacLaren. Les implants attestent aussi que « même quand les photorécepteurs sont morts, il existe encore un potentiel visuel résiduel, car les autres nerfs restent intacts. Je pensais qu'on n'arriverait jamais à le montrer. »

Ces enseignements, estime Robert MacLaren, ouvrent d'ores et déjà la voie à des avancées dans deux autres domaines de pointe : la thérapie génique et les cellules souches.

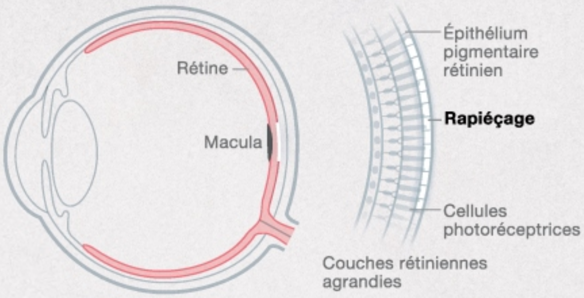
En Californie, une équipe dirigée par Mark Humayun, mène un essai à base de cellules souches dérivant d'un implant. Humayun est le co-inventeur de l'Argus II qui, au début des années 2010, a été le premier implant rétinien

Comment revitaliser la rétine

Les couches cellulaires rétiniennes perçoivent la lumière et transmettent des signaux. Leur dégénérescence peut déboucher sur des types de cécité aujourd'hui incurables. Ce diagnostic pourrait changer si les traitements rétiniens en phase d'essai et décrits ci-dessous se révélaient efficaces.

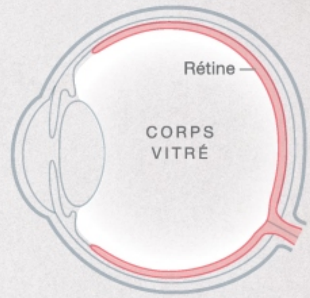
LE PATCH CELLULAIRE

Le patch cellulaire remplace les cellules mortes afin de ralentir ou de vaincre la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). Un patch revêtu de cellules épithéliales issues de cellules souches est placé derrière les photorécepteurs détériorés.



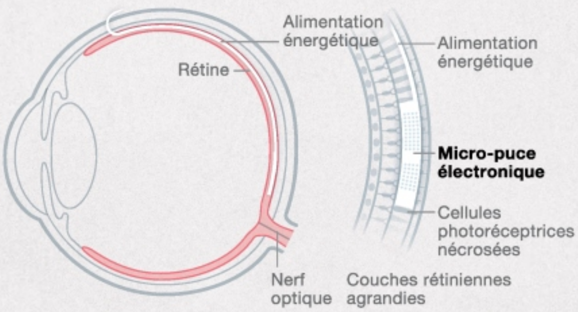
L'INJECTION DE CELLULES

Des cellules progénitrices rétiniennes sont injectées dans le corps vitré de l'œil. Elles libèrent des éléments qui ralentiront la progression de la dégénérescence héréditaire et de la cécité.



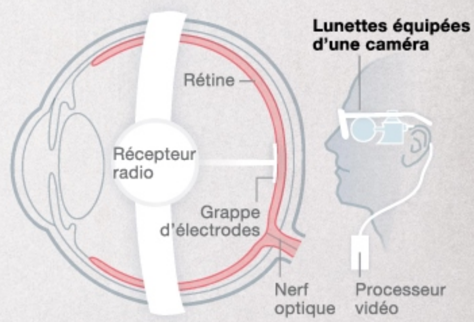
L'IMPLANT SOUS-RÉTINIEN

Une micro-puce convertit la lumière en courant électrique. Elle est implantée au milieu de photorécepteurs morts, dans la région maculaire de la rétine. Le nerf optique peut ainsi capter des signaux électroniques.



L'IMPLANT RÉTINIEN

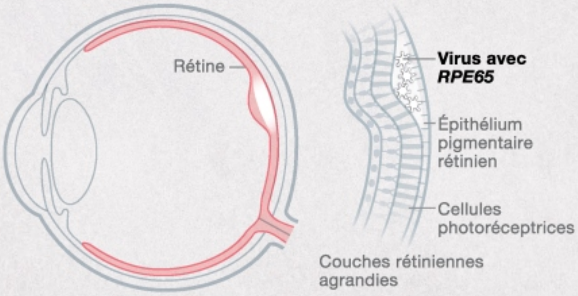
L'implant Argus, autorisé en Europe et aux États-Unis, contourne les photorécepteurs endommagés. Il fonctionne en associant des lunettes, une caméra externe, un processeur vidéo et une série d'électrodes.



LA THÉRAPIE GÉNIQUE

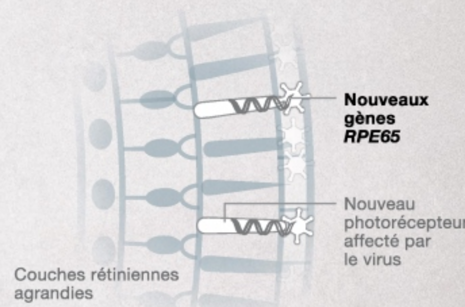
Étape 1

Le gène RPE65 contient le code d'une protéine cruciale pour la vision. On l'introduit dans un virus bénin, injecté près des cellules photoréceptrices endommagées.



Étape 2

Les virus transfèrent des gènes RPE65 sains. Les protéines produites par ces gènes permettront aux photorécepteurs de transformer la lumière en vision.



MANUAL CANALES, ÉQUIPE DU NGM; PATRICIA HEALY. ILLUSTRATION: EMILY M. ENG.

SOURCES: MARK S. HUMAYUN, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE DU SUD; HENRY KLASSEN, UNIVERSITÉ DE CALIFORNIE À IRVINE; ROBERT MCLAREN, UNIVERSITÉ D'OXFORD; JEAN BENNETT, UNIVERSITÉ DE PENNSYLVANIE

mis sur le marché. Comme l'Alpha d'Eberhart Zrenner, l'Argus consiste en une soixantaine d'électrodes installées sur l'arrière de la rétine. Mais, au lieu de capter la lumière, cette prothèse reçoit les signaux issus d'une minuscule caméra montée sur lunettes (et transmis *via* un processeur porté à la ceinture ou dans un sac).

Cet appareillage entraîne plus de contraintes que l'Alpha. Et, à la différence de ce dernier, à cause de sa caméra externe, il ne peut pas exploiter les saccades oculaires. Or ces petits mouvements permanents jouent un rôle aussi crucial que mystérieux dans la vision.

Mais l'Argus II a en partie inspiré le dispositif à base de cellules souches auquel travaille Mark Humayun. Lui et son chef d'équipe, le biologiste Dennis Clegg, de l'université de Californie à Santa Barbara, l'appellent tout simplement un « patch ». La trame en est une fine galette ayant à peu près la forme de ce « d », mais est deux fois plus grosse. Sur cet espace sont réparties 120 000 cellules dérivées de cellules souches embryonnaires.

Humayun et Clegg se proposent d'utiliser ce patch pour traiter la dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA). La perte de vision causée par la DMLA produit le phénomène inverse de la rétinopathie pigmentaire : une tache occulte la partie centrale de l'œil, puis s'assombrit et s'étend lentement vers la périphérie, jusqu'à brouiller quasi totalement la vue. C'est la cause de malvoyance incurable la plus répandue : elle représente 5 % de tous les cas de cécité.

La DMLA est due à la dégénérescence de la couche cellulaire située tout au fond de l'œil, indispensable à la couche de photorécepteurs adjacente. Humayun et Clegg espèrent que les cellules dérivées des cellules souches du patch pourront remplacer les cellules défectueuses.

Les cellules ne peuvent pas être simplement injectées. Dans des études menées sur des animaux par Humayun et Clegg, les cellules s'intègrent plus efficacement à la couche de photorécepteurs si leur patch est bien placé.

L'essai vient de débuter. Il devrait s'achever en 2018. S'il donne des résultats, il pourrait être utile dans le traitement de la DMLA et d'autres formes de cécité. Humayun et Clegg pourraient aussi en apprendre davantage sur les façons de fusionner de telles cellules avec les structures biologiques d'autres organes. Ce qui ouvrirait la voie à d'autres implants cellulaires.



Dans cette lutte contre la cécité, d'autres scientifiques s'intéressent au potentiel des cellules souches. Depuis trente ans, Henry Klassen (université de Californie à Irvine) tente de réhabiliter ou de remplacer des cellules rétiniennes défectueuses au moyen de cellules progénitrices (des cellules souches qui ont commencé à se muer en cellules différenciées).

Klassen a déjà réussi à utiliser des cellules progénitrices rétiniennes pour améliorer les capacités visuelles de souris, rats, chats, chiens et cochons. Il teste désormais un traitement



CHIRURGIE AMBULANTE CONTRE LA CATARACTE Ces femmes de l'ethnie herero (aux coiffes évoquant les cornes du bétail) ont été opérées en Namibie, dans un camp itinérant de traitement de la cataracte. Elles attendent maintenant qu'on leur enlève leur bandage. L'opération a duré une vingtaine de minutes.

similaire sur des sujets souffrant de rétinopathie pigmentaire avancée : un chirurgien injecte à l'aide d'une aiguille entre 500 000 et 3 millions de cellules progénitrices pour qu'elles revivifient la rétine défaillante.

Certains patients ayant suivi ce protocole voient plus nettement les formes et les lumières. Kristin Macdonald, une quinquagénaire californienne devenue quasi aveugle à cause d'une rétinopathie, s'est fait traiter un œil en juin 2015. Aujourd'hui, elle peut voir plus distinctement ses meubles, une camionnette de l'autre côté de la rue et, à la piscine, une « pâle lueur » – le reflet turquoise de l'eau, jusqu'alors en noir et blanc. Henry Klassen espère que de tels progrès corroboreront son postulat selon lequel des cellules sont parfaitement efficaces si l'on sait les placer aux bons endroits.

Helena Ndume, chirurgienne ophtalmologiste en Namibie, aime raconter ce que font ses patients quand ils retrouvent la vue après des années de cécité. Un homme qui avait failli être écrasé par un éléphant l'a remerciée, car il pouvait voir les animaux en liberté. Une femme prenait un soin méticuleux à retirer les arêtes de poisson. Une autre, âgée de 46 ans, a enfin pu voir son jeune fils. *(suite page 76)*





VOIR APRÈS DES DÉCENNIES D'OBSCURITÉ
Antonia Nuses, 85 ans, opérée de la cataracte dans un camp ophtalmologique itinérant, à Omaruru (Namibie), peut enfin voir son petit-fils. L'opération rend la vue à de nombreux patients qui en étaient privés depuis des décennies.



(suite de la page 73) Helena Ndume a récolté beaucoup d'anecdotes similaires depuis vingt ans qu'elle réalise ses propres interventions contre la malvoyance. Et ses résultats sont, en un sens, sans ambiguïté : 30 000 patients traités, 30 000 patients ayant recouvré la vue en deux décennies, grâce à une simple opération de la cataracte parfaitement rodée. Mais ce n'est pas son objectif ultime. Helena Ndume et d'autres praticiens veulent savoir *in fine* si l'humanité, une fois en possession d'un traitement efficace, se souciera d'en faire profiter tous ceux qui en ont besoin.

La cataracte cause la moitié des cas de cécité dans le monde. Les personnes qui en souffrent dans les pays développés sont soignées dès qu'elles ont du mal à regarder la télévision. Dans les pays pauvres, elles deviennent aveugles.

Le traitement est simple : mettez un praticien et un patient dans une même pièce, anesthésiez, passez entre quinze et vingt minutes à remplacer le cristallin naturel opaque par un cristallin artificiel clair, et prévoyez un examen postopératoire. Dans les pays en développement, le traitement coûte en général entre 12 et 90 euros. Or peu de personnes en bénéficient.

Helena Ndume tente de remédier à la situation en organisant des camps itinérants de traitement de la cataracte, en collaboration avec les gouvernements de Namibie et d'autres pays africains, et avec l'ONG SEE International. Elle intervient dans des zones reculées et, avec son équipe de chirurgiens, opère jusqu'à 500 personnes par semaine. Les Nations unies lui ont décerné son premier prix Nelson Mandela pour « service rendu à l'humanité ».

De toutes les anecdotes que m'a racontées Helena Ndume, ma préférée concerne une femme qu'elle a opérée pendant la première année des camps, à Rundu, près de la frontière nord de la Namibie. Sur plus de 200 patients inscrits, seuls 82 se sont présentés. Beaucoup étaient terrifiés à l'idée de se faire inciser l'œil. La femme en question faisait partie de la minorité courageuse. L'année d'après, Helena Ndume a réinstallé son camp à Rundu. La même femme est revenue, débordante d'enthousiasme. Elle a pris Ndume par la main jusqu'à la porte du local : « Je suis venue avec des amis. » Au-dehors était rassemblée une foule de gens impatients d'être opérés après avoir constaté les résultats de l'intervention. Et la femme d'expliquer : « Ils en parlent comme d'un miracle. »

Pourtant, malgré tous les efforts d'Helena Ndume et d'autres médecins, environ 20 millions de personnes dans le monde ne peuvent pas voir à cause d'une cataracte. Soignez-les toutes, et vous aurez guéri la moitié des aveugles.

Une telle tâche exigerait plus que des camps itinérants. Il faudrait des infrastructures permanentes, afin que l'opération devienne une routine. C'est pourquoi l'ex-star du championnat américain de basket Dikembe Mutombo a construit un hôpital dans sa ville natale de Kinshasa (République démocratique du Congo).



EX-AVEUGLES DE NAISSANCE En Inde, Anita (à gauche) et Sonja Singh sont nées avec des cataractes. Leur famille ne pouvait pas payer une opération. Elles avaient 5 et 12 ans quand des donateurs l'ont financée. Anita a gagné plus de capacités visuelles que Sonja, car l'intervention réussit mieux chez les patients les plus jeunes.

Quand elle y a séjourné, Helena Ndume s'est vite rendu compte que l'établissement était sous-dimensionné par rapport aux besoins. Elle y est restée sept jours au lieu de cinq, a effectué plus de cent opérations, et a laissé une liste d'attente de plusieurs centaines de patients.

Quand j'ai évoqué les différentes causes de cécité que cet article aborderait, la chirurgienne m'a dit posément : « Toutes ces autres choses, la dégénérescence maculaire, la rétinopathie pigmentaire, ne sont rien comparées aux cataractes. » Elle ne voulait pas dire que ces maux sont bénins ou qu'il ne faut pas les soigner. Elle voulait dire que le plus grand défi auquel la médecine est confrontée pour mettre fin à la cécité n'est pas seulement de trouver des traitements, mais aussi de les diffuser.

Ce jour-là, Helena Ndume a réalisé neuf opérations de la cataracte avant le déjeuner. J'ai assisté à l'une d'entre d'elles. Ce spectacle m'a mis mal à l'aise – en partie, ai-je réalisé, parce que rien ne symbolise mieux la conscience qu'un œil grand ouvert. Or cet œil était grand ouvert jusqu'à l'absurde, et pourtant totalement insensible au bistouri qui creusait son sillon dans sa cornée. Quand j'ai compris cela, il m'a été bien plus facile de regarder : je savais qu'une fois l'opération achevée, l'œil verrait clairement. ◻



ENQUÊTE

Le retour fracassant de la fourrure

Fini le boycott ! Stylistes, stars du hip-hop et riches Chinois raffolent des peaux de vison, crocodile, autruche… Les défenseurs des animaux s'insurgent.



Dans un élevage, en Pologne, un vison se terre à l'intérieur de la cage en fer où il passera toute sa vie, soit entre six et huit mois. Certains éleveurs, surtout en Europe, se conforment à de nouvelles normes rigoureuses sur les conditions de vie des animaux convoités pour leur peau.



IL FAIT LA PEAU AU CAÏMAN
Dans un élevage colombien, un ouvrier va dépouiller un caïman brun, tué d'une incision à la base du cou. Il ouvrira l'animal de la tête à la queue, et un collègue lui enlèvera la peau. Le cuir de l'alligator se vend plus cher que celui du caïman, moins prisé.





L'AUTRUCHE SE MONDIALISE
Dans cet élevage de Thaïlande, les autruches sont tuées, plumées et écorchées à la main. Les créateurs de mode louent leur cuir souple, résistant et élégant. Originaire d'Afrique, l'autruche est élevée dans le monde entier pour sa peau, ses plumes et sa viande.

PAOLO MARCHETTI, ALEXIA FOUNDATION



Par Richard Conniff
Photographies de Paolo Marchetti



En cette journée de la mi-février, il gèle à pierre fendre. Nous nous extrayons d'une zone humide prise par la glace sur plus de 20 cm de profondeur. Bill Mackowski, trappeur depuis soixante ans, exerce surtout dans le nord de l'État du Maine. Il me montre des branches d'aulne pointant à travers la glace. Les castors, m'explique-t-il, ramassent le bois des peupliers dès les premiers froids, avant d'empiler des aulnes non comestibles pour faire ployer les peupliers sous la glace et les manger durant l'hiver. Le trappeur transperce la surface gelée à l'aide d'une barre de fer, puis élargit le trou et tire sur quelque chose. Un instrument en acier crève la surface boueuse – un piège brutalement refermé sur la nuque d'un énorme castor.

« C'est ce qu'on appelle une super-couverture, annonce Bill Mackowski. Une belle bête. »

La peau ne lui rapportera pas plus de 25 dollars mais, sur le chemin du retour, il affiche la satisfaction que des milliers de générations de chasseurs et de trappeurs ont éprouvée devant leurs prises. Il cite les mots d'un visiteur venu un hiver précédent : « Si les gens parvenaient à faire abstraction de la mort des castors, ils paieraient pour venir ici. »

En réalité, faire abstraction de la mort des animaux ne semble déjà plus être le souci. Des top-modèles ayant posé nues pour une campagne affirmant « Plutôt à poil qu'en fourrure » font aujourd'hui leur carrière dans la fourrure de mode. Des créateurs qui « avaient peur d'y toucher » voilà quinze ou vingt ans ont, eux aussi, « brisé le tabou », m'explique Dan Mullen, un éleveur canadien de visons.

Beaucoup d'acteurs du secteur admettent aujourd'hui que les campagnes virulentes des militants anti-fourrure avaient raison sur un point : les conditions de vie des animaux dans les élevages étaient indécentes. Et d'ajouter que le commerce a changé – ce que contestent ses détracteurs. En tout cas, de plus en plus de gens jugent que porter ou non de la fourrure relève d'un choix individuel.

Les élevages dominent le marché de la fourrure. Leur production a plus que doublé depuis les années 1990. En 2015, elle a atteint environ 100 millions de peaux – surtout de vison, et de renard dans une moindre mesure.



DÉFILÉ DE MODE À MILAN Des mannequins s'apprêtent à fouler le podium lors d'un défilé de Simonetta Ravizza, connue pour ses créations en fourrure. Celles-ci sont en vison, renard et hermine, mais aussi en peaux plus banales : celle de chèvre, imprimée, évoque le léopard et d'autres espèces rares.

Les trappeurs y ont ajouté des millions de castors, coyotes, ratons laveurs, rats musqués et d'autres animaux sauvages. Sans compter des millions et des millions de bovins, agneaux, lapins, autruches, crocodiles, alligators et caïmans, tués à la fois pour leur viande et leur peau.

Naguère attribut de l'élégance bourgeoise hivernale, la fourrure est devenue hip-hop et jeune. Elle s'affiche en toute saison, de toutes les façons : coussins, porte-monnaie, porte-clés, talons aiguilles, sweat-shirts, écharpes, meubles, abat-jour... Il y a des manteaux de fourrure aux motifs de camouflage, d'arc-en-ciel ou dignes des constructions impossibles de M. C. Escher.

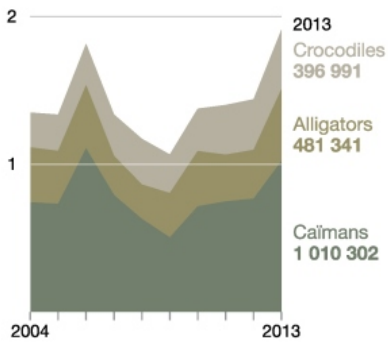
Comment la fourrure a-t-elle réussi ce retour fracassant après l'ostracisme qui la frappait dans les années 1990 ? Après la sinistre réputation acquise dans les années 1960, quand ce commerce menaçait la survie du léopard, de l'ocelot et d'autres espèces ? L'utilisation d'espèces en danger a été interdite dans les années 1970. Mais le renouveau actuel est celui d'un secteur qui a su répondre à ses détracteurs – et, souvent, à se jouer d'eux –, tandis que la demande des nouveaux riches croissait en Chine, en Corée du Sud et en Russie. *(suite page 88)*



DES MILLIERS DE VISONS PAR JOUR
Un tapis roulant emmène un vison tué au monoxyde de carbone vers la machine à dépouiller. Le cadavre sera transformé en fertilisants. En automne, quand la fourrure s'épaissit, les élevages tels que celui-ci, en Pologne, tuent des milliers d'animaux par jour.



Exportations mondiales de peaux de crocodiliens (en millions)



Les ventes de peaux de crocodiliens (crocodile, caïman et alligator) ont chuté pendant trois ans après 2006, du fait de la récession mondiale et de l'impact des ouragans Katrina et Rita sur les alligators américains. Depuis, les affaires ont repris, avec 1,9 million de peaux exportées en 2013.



(suite de la page 85) Je dois avouer ici que j'aborde ce reportage avec un point de vue particulier. Mon arrière-grand-père était trappeur, et je crois que la connaissance intime des choses qu'apportent la chasse, la pêche et le travail avec les créatures vivantes s'est largement perdue dans nos vies urbanisées. Je dois ajouter que mon épouse et moi avions hérité d'une veste en ocelot constituée de quinze peaux, qui nous ont hantés jusqu'à ce que nous la donnions à une réserve de faune comme un objet éducatif. J'ai donc voulu aller voir de mes propres yeux.

Je roule en pleine tempête de neige vers le nord et la Nouvelle-Écosse, au Canada, l'un des centres du commerce des peaux. Dan Mullen m'a invité à voir comment vivent ses visons. Et comment ils meurent.

Mullen a grandi dans la vieille tradition de l'élevage des visons : longs et étroits abris en bois ouverts sur le côté, avec des rangées de petites cages étriquées de part et d'autre. Quand il a lancé sa propre affaire, il a opté pour des cages plus larges, comme celles exigées en Europe. Il en a installé six rangées dans des étables longues de plus de 100 m, au toit en plastique translucide.

Plusieurs fois par jour, un employé conduit un petit véhicule le long des allées, déposant sur le toit de chaque cage un repas élaboré scientifiquement et réparti par ordinateur (on dirait du hamburger cru). Une conduite hors gel fournit de l'eau 24 heures sur 24. Sous les cages, une gouttière mobile emporte les excréments, transformés en fertilisants ou en électricité dans un biodigesteur (minicentrale produisant du gaz).

Ces changements sont intervenus en grande partie sous la pression des défenseurs du bien-être animal. Mais les éleveurs ont souvent su en tirer parti. Par exemple, les cages de Mullen sont toutes pourvues d'une étagère en hauteur qui permet à la mère allaitante de s'éloigner de ses petits (des mères moins dérangées élèvent des petits en meilleure santé). Dans la cage, des jouets réduisent le stress, ce qui donnerait des peaux de meilleure qualité. Paradoxe : les acteurs du secteur se vantent de réformes auxquelles les ont contraints leurs vieux adversaires.

Les visons de Dan Mullen sont d'une taille et d'une santé surprenantes. Ils mesurent le double de leurs congénères sauvages, et ont de grands visages curieux. Ils n'en sont pas moins condamnés. Je suis venu les voir mourir.

GRAPHIQUE : ÉQUIPE DU NGM. SOURCE : JOHN CALDWELL, PROGRAMME DES NATIONS UNIES POUR L'ENVIRONNEMENT, CENTRE DE SURVEILLANCE DE LA CONSERVATION DE LA NATURE



PETIT CAÏMAN NE DEVIENDRA PAS GRAND
Cet élevage colombien traite plus de 40 000 caïmans par an, transférés d'un réservoir à l'autre en fonction de leur taille. Ceux-ci mesurent environ 50 cm. Ils seront tués avant d'atteindre un peu plus de 1 m car, sinon, ils se mettent à se battre pour défendre un territoire.

Les employés portent des gants de soudure pour éviter les morsures. Ils passent de cage en cage, et soulèvent chaque animal par la base de la queue. Quelques bêtes poussent des cris stridents, mais la plupart sont visiblement habituées à ce traitement jusqu'à ce qu'elles tombent à travers la porte battante du box d'assommage tels des paquets dans une boîte aux lettres. Du monoxyde de carbone leur fait perdre connaissance en moins de soixante secondes. Quelques minutes plus tard, elles sont mortes.

« Pour d'autres espèces, explique Dan Mullen, les animaux sont souvent transportés par camion sur des centaines de kilomètres jusqu'à l'abattoir, et c'est horrible et sanglant. Ce que vous voyez est la forme d'abattage d'animaux d'élevage la moins cruelle. » Le lendemain, nous visitons l'usine de traitement. Des machines y enlèvent la peau de chaque cadavre et la retirent d'un seul tenant, comme un tee-shirt.

La plus grande maison d'enchères de fourrures du monde est Kopenhagen Fur, au Danemark. Une chaîne constituée de robots, d'appareils de radiographie, de technologie d'imagerie et d'humains offre *(suite page 92)*

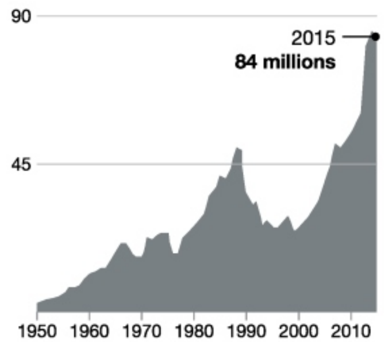

Camel



SOUS LE RÉGIME DE LA SÉPARATION
Cette autruche femelle a abandonné quelques plumes à son partenaire. Les mâles adultes, extrêmement agressifs, sont séparés. Dans cet élevage thaïlandais, chaque mâle partage son enclos avec une ou deux femelles. Les éleveurs récupèrent les petits quand ils ont environ 1 an.

PAOLO MARCHETTI, ALEXIA FOUNDATION

Production mondiale de visons (en millions)



Le vison représente 85 % du commerce mondial des fourrures, et connaît un essor exceptionnel. Ces dernières années, la Chine est devenue l'un des principaux producteurs de peaux.



(suite de la page 89) à la vente 6,8 millions de peaux. Munies d'un code-barres lié à l'éleveur, celles-ci ont été classées en cinquante-deux catégories, et réparties en milliers de lots pour les enchères. Dans la salle des ventes, les acheteurs consultent leurs catalogues, blaguent et manœuvrent pour obtenir les lots convoités.

Kick est un atelier travaillant pour la Kopenhagen Fur. Là, Ran Fan, une créatrice venue de Beijing, découpe la peau d'un vison couleur lavande. Elle fabrique une sorte de treillis pour une veste légère. « J'adore la fourrure », dit-elle, au diapason de sa clientèle qui raffole des couleurs vives et des modèles insolites. Les consommateurs chinois achètent la moitié de la production mondiale de fourrure.

Le renouveau de la fourrure s'explique en grande partie par sa stratégie de séduction auprès de jeunes créateurs comme Ran Fan et, par ricochet, auprès d'une clientèle jeune. Alors même que les campagnes anti-fourrure battaient leur plein, les grandes salles de vente ont décidé de faire appel à des créateurs et à des étudiants en design. Le but était de contourner les fourreurs traditionnels et les rayons spécialisés pour faire de la fourrure un tissu de qualité comme les autres, disponible partout où sont vendus des vêtements.

Ces relations assidûment cultivées se sont révélées payantes. Les stylistes ont appris à traiter la fourrure de façons que les fourreurs habituels n'avaient jamais imaginées. Grâce aux innovations en matière de teinture, il est possible de produire des fourrures dans n'importe quelle couleur susceptible de faire fureur le temps d'une saison, du bleu aérien au vert flashy. Les nouvelles techniques de couture ont également permis de fabriquer plus de pièces avec moins de matière première. Et la fourrure est devenue plus abordable – un mot jusqu'alors rarement associé avec la pelleterie.

« Cela commence par une jeune consommatrice qui achète un porte-clés en fourrure, explique Julie Maria Iversen, de Kopenhagen Fur. Un peu plus tard, elle s'offrira peut-être un sac en fourrure. Et elle finira par acheter un manteau en fourrure. L'idée est de toucher la prochaine génération de femmes. »

Que penser de ce renouveau ? La prochaine génération de femmes doit-elle se sentir « touchée » ? Ou doit-elle s'indigner, comme

GRAPHIQUE : ÉQUIPE DU NGM. SOURCE : HENNING OTTE HANSEN, UNIVERSITÉ DE COPENHAGUE



l'y encouragent les défenseurs des droits des animaux ? Faut-il se féliciter des progrès de l'industrie des peaux dans le bien-être animal ? Ou ces mesures contribuent-elles à « nous aider à mieux accepter l'exploitation des animaux ? », s'interroge Gary Francione, professeur de droit à l'université Rutgers et partisan de l'arrêt de toute utilisation des animaux par les humains.

PIEDS D'AUTRUCHES Dans une tannerie de Bangkok, des peaux de pieds d'autruches pendent après nettoyage. Les couturiers en aiment l'aspect et le toucher inhabituels. La peau d'autruche peut se teindre en de nombreuses couleurs, souvent de plus en plus éloignées des couleurs naturelles.

PAOLO MARCHETTI, ALEXIA FOUNDATION

Comme le bétail et les volailles d'élevage, les animaux à fourrure passent leur vie en captivité, puis sont tués. Avec des méthodes que peu d'entre nous oseraient imaginer. Par exemple, des éleveurs de renards pratiquent l'électrocution anale, censément plus rapide et efficace.

Beaucoup d'élevages d'animaux à fourrure offrent des conditions décentes à grande échelle ; mais de nombreux autres ne le font pas ou ne le veulent pas. Or le processus de tri d'une vente aux enchères fait que les peaux d'un même lot peuvent provenir de 300 élevages différents – bons ou mauvais. C'est un problème pour tout créateur soucieux d'assurer à sa clientèle qu'il respecte des méthodes décentes et durables.

L'industrie de la fourrure européenne affirme qu'elle travaille à une solution – un programme appelé WelFur. Mais sa mise en place suppose



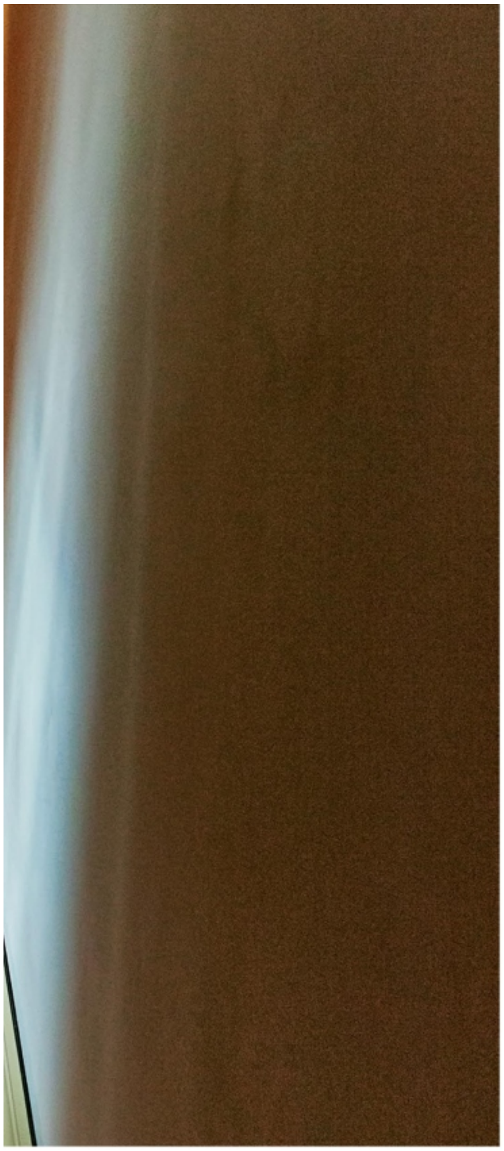
BAGAGES DE LUXE De luxueux sacs à main retiennent l'attention d'un visiteur dans le showroom de Bianchi e Nardi. La marque, dirigée par les petits-enfants des fondateurs, a deux usines à Florence, qui confectionnent chaque année 80 000 sacs en peau d'autruche, crocodile, lézard et python, entre autres.

au préalable d'inspecter et de noter des milliers d'élevages. Steen Henrik Møller, agronome à l'université d'Aarhus, participe au programme. Je visite avec lui un élevage danois de visons. Son inspection est extrêmement pointilleuse. Møller vérifie les dimensions des nichoirs fixés dans les cages et contrôle la quantité de paille nécessaire pour l'isolation en hiver. Il examine chaque animal, l'état du corps, les blessures et l'existence de mouvements d'avant en arrière, révélateurs de stress. Il introduit un abaisse-langue pour voir si l'animal répond par la peur, l'agressivité ou la curiosité. Une visite du WelFur dure environ six heures pour inspecter un échantillonnage de 120 cages selon 22 critères.

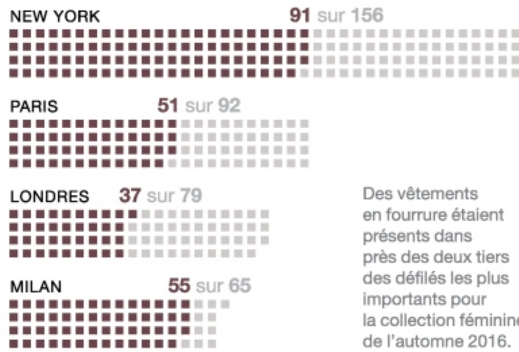
« J'espère que personne ne sera classé dans la pire catégorie, risque l'éleveur.

— J'espère bien que si, réplique Steen Henrik Møller, car, si le système ne sait pas faire le tri parmi les éleveurs, il ne fonctionnera pas. »

Pour autant, les acheteurs se sentent-ils vraiment concernés ? « La réponse sera très différente à Shanghai ou à Zurich, reconnaît Tage Pedersen, président de Kopenhagen Fur. Mais, à l'avenir, les consommateurs seront de plus en plus vigilants. Pas seulement pour la fourrure,



Présence de fourrures dans les défilés de mode les plus importants



Des vêtements en fourrure étaient présents dans près des deux tiers des défilés les plus importants pour la collection féminine de l'automne 2016.

mais pour tout ce que nous achetons. Dans une boutique, ils demanderont si le bien-être de l'animal a été respecté. Et si le vendeur est affirmatif, ils diront : “Comment le savez-vous ?” » Pedersen estime que le secteur ne pourra s'offrir un système d'inspection que si les acheteurs acceptent de payer un supplément pour le label WelFur. Sur ce point, il se montre confiant.

Le mouvement de protection des animaux a toujours voulu bannir l'utilisation de la fourrure. La Grande-Bretagne, l'Autriche et la Croatie ont pris des mesures en ce sens ; les Pays-Bas y travaillent. Mais une interdiction n'empêche pas les gens de porter de la fourrure. La production se délocalise là où cette interdiction ne s'applique pas. Pendant la vente de Kopenhagen Fur, j'ai demandé à un courtier, propriétaire d'un élevage de visons en Chine, si ce pays avait progressé en matière de bien-être animal. L'homme s'est crispé, avant de lancer sèchement : « Pas beaucoup. »

Interdire l'élevage des animaux à fourrure ne change rien non plus à l'élevage du bétail. C'est s'offrir une bonne conscience à peu de frais. La majorité d'entre nous n'a jamais acheté de fourrure et n'en achètera jamais, et pourtant mange de la viande, boit du lait, porte des chaussures en cuir et participe aux formes d'exploitation animale que les humains ont toujours pratiquées – à une échelle qui, en comparaison, rend l'industrie de la fourrure marginale.

Les acteurs du secteur se plaisent à fustiger l'hypocrisie ambiante. Presque tous observent que les autres éleveurs n'ont pas dû améliorer leurs pratiques aussi systématiquement qu'eux. « Nous savions que nous risquions l'interdiction, rappelle Tage Pedersen. Les autres éleveurs n'avaient rien à craindre de ce côté-là. »

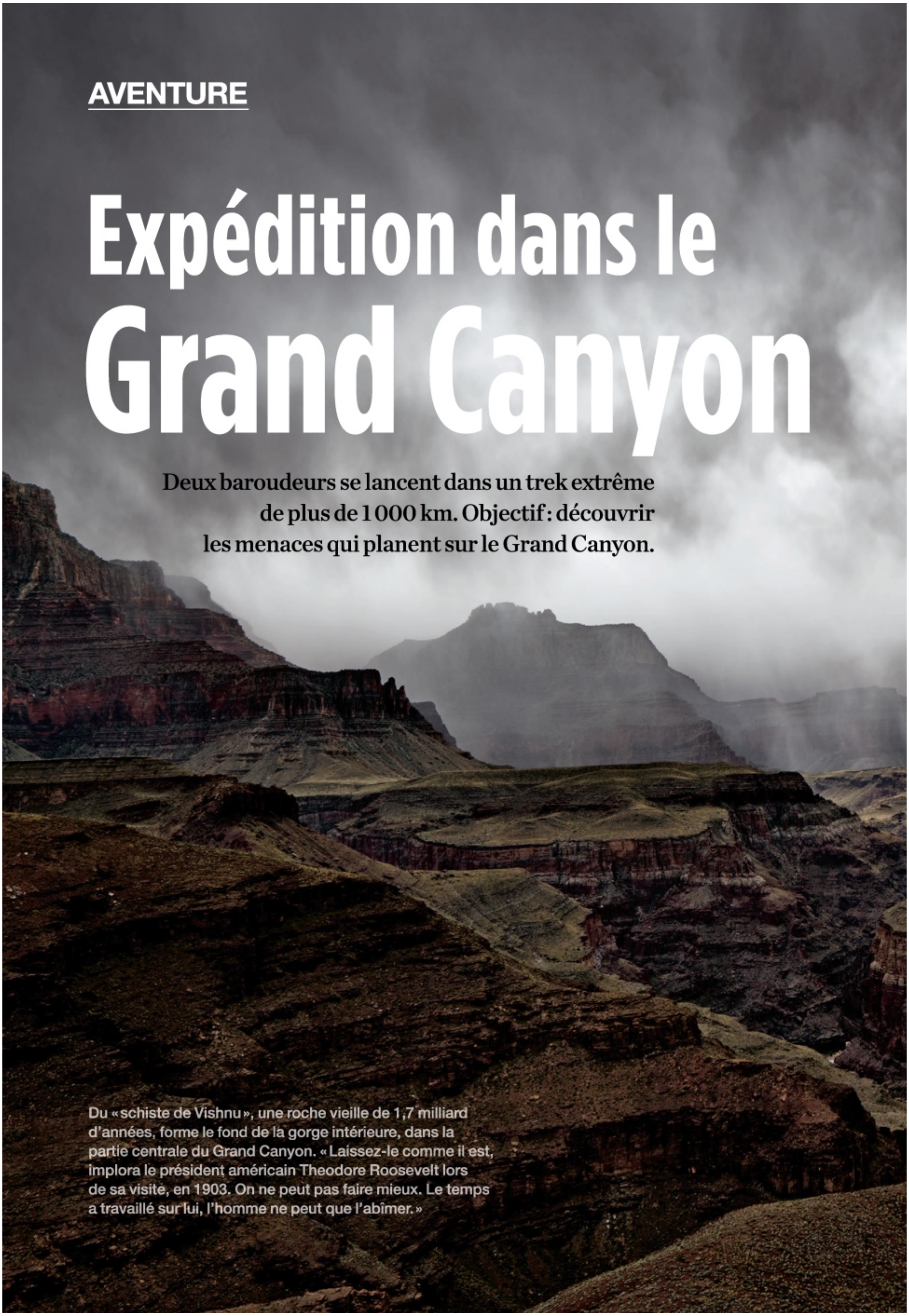
Alors, voici mon idée : au lieu d'interdire la production de fourrures, continuons de faire pression pour empêcher les mauvais éleveurs de nuire. Ensuite, prenons les éleveurs les plus progressistes et les améliorations (généralisables, parfois aussi rentables) qu'ils ont apportées : confinement des ruissellements agricoles, réduction du stress, meilleur logement pour les animaux, inspections régulières pour vérifier leur bien-être. Et faisons en sorte que ces progrès deviennent le modèle de toutes les formes de production animale dont dépendent nos vies, pour lesquelles nous avons tant d'égard. □

GRAPHIQUE : ÉQUIPE DU NGM. SOURCE : FUR COMMISSION USA

AVENTURE

Expédition dans le Grand Canyon

Deux baroudeurs se lancent dans un trek extrême de plus de 1000 km. Objectif : découvrir les menaces qui planent sur le Grand Canyon.



Du « schiste de Vishnu », une roche vieille de 1,7 milliard d'années, forme le fond de la gorge intérieure, dans la partie centrale du Grand Canyon. « Laissez-le comme il est, implora le président américain Theodore Roosevelt lors de sa visite, en 1903. On ne peut pas faire mieux. Le temps a travaillé sur lui, l'homme ne peut que l'abîmer. »





MANIFESTATION CONTRE LA MINE D'URANIUM
Des Indiens Havasupais protestent devant une mine d'uranium, où l'extraction doit commencer en 2017. Leur réserve s'étend à l'intérieur de la zone du Grand Canyon. Des mines ont déjà pollué la région, mais Energy Fuels, l'exploitant du gisement, nie tout risque.




River Runners



UN FLEUVE POUR FRONTIÈRE
Les bateaux touristiques des Hualapais naviguent sur une partie du Colorado limitrophe de leur réserve. En principe, le fleuve sépare celle-ci du parc national du Grand Canyon. Mais la tribu et le Service national des parcs sont en désaccord sur le tracé de cette frontière.



Par Kevin Fedarko   Photographies de Pete McBride

Si tu glisses ici, tu ne pourras pas t'arrêter. Tu tomberas dans l'abîme », hurle Rich Rudow, un homme d'habitude imperturbable. Mais ce passage exige de rester sur ses gardes, et il ne le sait que trop bien. Nous sommes sur un escarpement rocheux qui surplombe le fleuve Colorado de 1 050 m, à la pointe de Great Thumb Mesa. Telle la proue d'un immense navire, cette formation spectaculaire surgit dans l'un des endroits les plus isolés du Grand Canyon. Même les randonneurs les plus chevronnés ont rarement l'occasion de le voir. Si on atteint ce point, il est impossible de descendre jusqu'au fleuve sans matériel d'alpinisme ; et, après huit jours de randonnée, il ne reste plus assez de provisions pour refaire le trajet en sens inverse. Il faut aller de l'avant.

La terrasse étroite que nous avons suivie ces derniers jours disparaît devant une profonde indentation, ou « baie », dans la paroi du canyon. Le lieu est baptisé Owl Eyes (« yeux de hibou »), en raison des deux énormes trous ovales



LES AVENTURIERS Le journaliste Kevin Fedarko (au fond) et ses coéquipiers, sur la voie Walter Powell.

enfoncés au centre de la paroi qui se dresse au milieu de la « baie ». Le lieu est sinistre, et pas seulement à cause de ces orbites menaçantes. Il y a presque quatre ans, par une journée ensoleillée de février, une belle jeune femme, amie de Rich Rudow, a fait une chute mortelle en franchissant ce passage.

Pour l'heure, nous observons le terrain dans des conditions météo bien pires. Dans la nuit, une tempête a recouvert le canyon de 23 cm de neige. Pas vraiment ce dont Pete et moi rêvions quand nous avons entrepris cette aventure : la traversée intégrale du Grand Canyon.

L'entreprise n'est pas des plus sensées, car il n'existe ni sentier aménagé ni réseau de chemins allant d'un bout à l'autre du Grand Canyon, que ce soit par le versant Nord (North Rim) ou par le versant Sud (South Rim). Le moyen le plus efficace pour accomplir ce périple est de se laisser porter par le fleuve, sur 433 km – la longueur totale du Grand Canyon. C'est pourquoi John Wesley Powell, qui en dirigea et consigna la première descente, avait opté pour des barques.

L'exploit de Powell s'est déroulé pendant l'été 1869. La première traversée pédestre connue du Grand Canyon n'a eu lieu que plus d'un siècle plus tard. Entre-temps, le statut du canyon a évolué : l'ancienne réserve forestière a acquis le titre de National Monument, avant de s'imposer comme le joyau des parcs nord-américains. Ce paysage, sans aucun doute le plus emblématique et le plus apprécié des États-Unis, s'est mué en destination de vacances pour plus de cent millions de familles, ses images ornant d'innombrables cartes postales.

Pourtant, personne n'avait imaginé le traverser à pied. Jusqu'à ce que Kenton Grua, un guide de rivière de 25 ans, effectuât cette première pendant l'hiver 1976. Quelle distance a-t-il parcourue en trente-sept jours, entre Lees Ferry et Grand Wash Cliffs ? Impossible à dire, sans doute plus de 1100 km, compte tenu des innombrables échancrures du versant Sud.

Kenton Grua ne s'est jamais vanté de sa prouesse, mais la rumeur s'est peu à peu répandue. Une nouvelle épreuve s'offrait ainsi à une

Il n'existe aucun sentier allant d'un bout à l'autre du Grand Canyon...

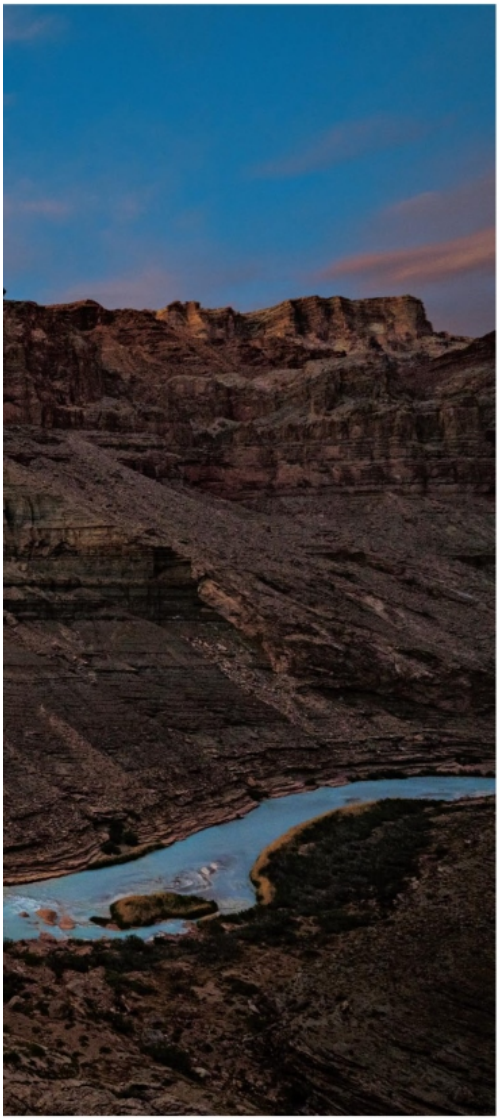


frange de randonneurs de l'extrême, dont Rich Rudow, un ingénieur électricien de Phœnix (Arizona), faisait partie. À l'automne 2015, après des centaines de randonnées et d'expéditions dans des canyons très étroits, ce dernier se sentait prêt à relever son plus grand défi : un trek de cinquante-sept jours d'est en ouest, le long du versant Nord.

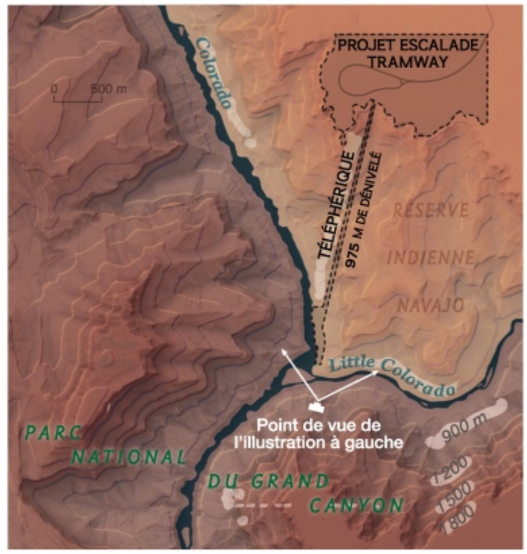
Ses deux compagnons et lui se préparaient au départ, presque quarante ans après la traversée de Kenton Grua. À ce moment-là, moins d'une trentaine d'individus avaient réussi à s'approcher de l'exploit du jeune guide : ils avaient réalisé une traversée discontinue, en

SACRILÈGE C'est un lieu sacré pour les Indiens : la confluence du Colorado et du Little Colorado. Des promoteurs veulent y construire un téléphérique qui transporterait 10 000 passagers par jour jusqu'à un centre commercial.

Avant 2015, douze personnes avaient marché sur la Lune ; huit avaient parcouru le canyon d'une traite.



Le projet baptisé « Escalade Tramway » devrait voir le jour à la lisière occidentale des terres navajos. Ses partisans mettent en avant les revenus touristiques qu'en retireraient ces Indiens dénués de ressources.



enchaînant plusieurs treks distincts sur toute la longueur du canyon. Ceux qui avaient accompli une traversée en continu étaient encore moins nombreux. Avant 2015, douze personnes avaient marché sur la Lune ; huit seulement avaient parcouru le Grand Canyon de bout en bout et d'une seule traite.

Quand le photographe Pete McBride a entendu parler de l'équipée de Rich Rudow, il l'a appelé pour lui demander si nous pouvions nous joindre à son groupe. Pete et moi naviguions depuis des années dans le canyon, mais nous n'étions absolument pas préparés pour ce genre d'aventure. Alors, pourquoi Rich Rudow a -t-il accepté notre présence ? Parce qu'il s'est laissé convaincre par le but de notre démarche : vérifier des informations préoccupantes sur l'avenir du Grand Canyon, telles que la mise en place de nouveaux projets touristiques, la multiplication des vols en hélicoptère et l'ouverture d'une mine d'uranium.

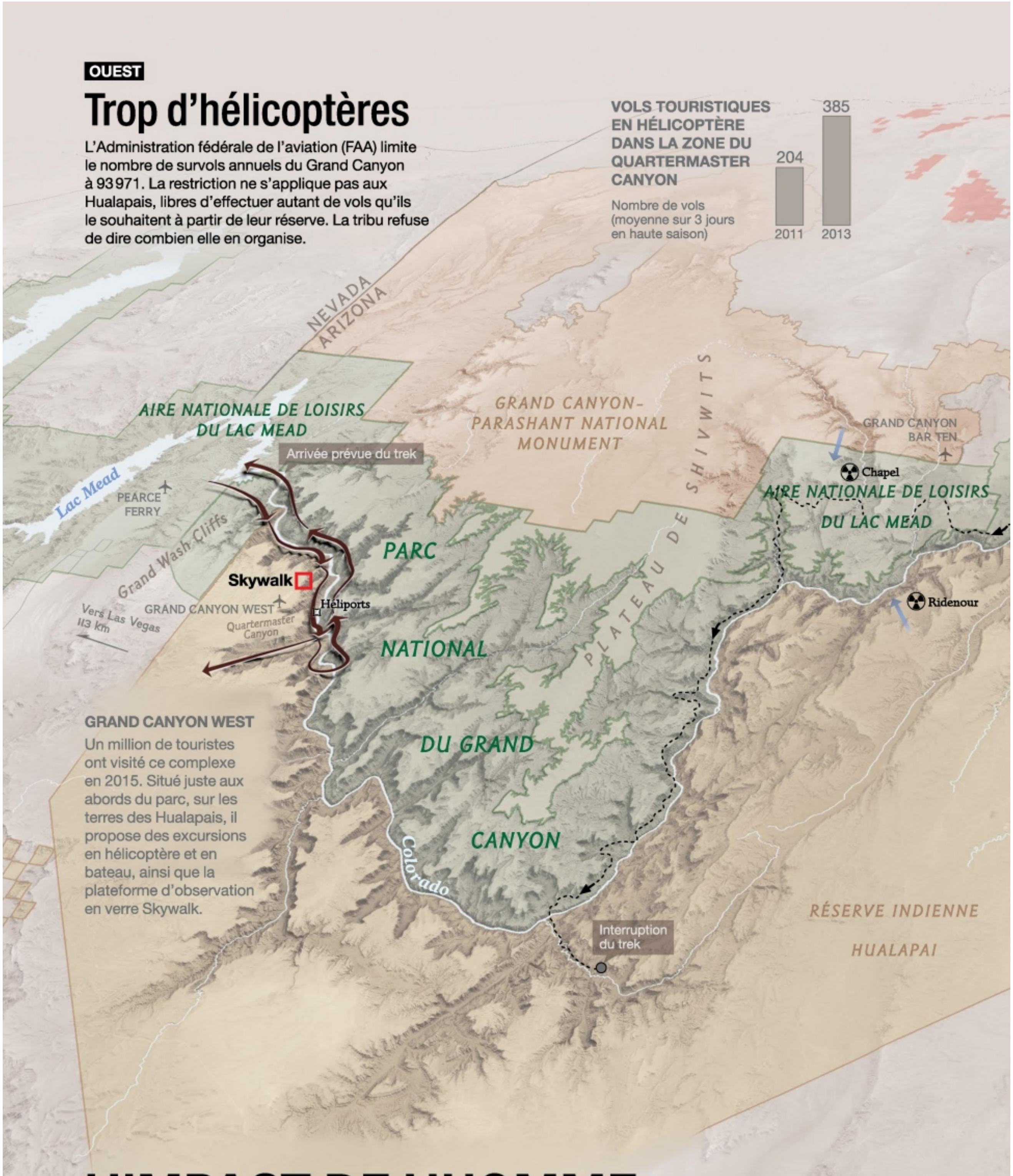
Depuis qu'il fait partie de l'imaginaire américain, le Grand Canyon suscite deux types de réactions : le désir de le protéger de toute urgence et la tentation d'en tirer le maximum d'argent. Après l'expédition de John Wesley Powell, des mineurs se sont rués dans le canyon pour en exploiter les gisements de cuivre, de zinc, d'argent et d'amiante. Dans les années 1880, un riche homme d'affaires s'est mis en tête de construire une voie ferrée dans la vallée pour acheminer du charbon entre Denver et la Californie. Le magnat s'est noyé dans le fleuve Colorado pendant l'expédition de reconnaissance. Dans les années 1950, une compagnie minière a essayé de faire fortune en construisant un téléphérique *(suite page 109)*

CARTE : CHARLES PREPPERNAU, ÉQUIPE DU NGM ; SOURCES : GRAND CANYON ESCALADE ; SERVICE GÉOLOGIQUE DES ÉTATS-UNIS (USGS)

OUEST

Trop d'hélicoptères

L'Administration fédérale de l'aviation (FAA) limite le nombre de survols annuels du Grand Canyon à 93 971. La restriction ne s'applique pas aux Hualapais, libres d'effectuer autant de vols qu'ils le souhaitent à partir de leur réserve. La tribu refuse de dire combien elle en organise.



GRAND CANYON WEST

Un million de touristes ont visité ce complexe en 2015. Situé juste aux abords du parc, sur les terres des Hualapais, il propose des excursions en hélicoptère et en bateau, ainsi que la plateforme d'observation en verre Skywalk.

L'IMPACT DE L'HOMME

Le Grand Canyon est si grand (4 931 km^2) que l'on est tenté de minimiser l'impact des activités humaines. À tort. Le nombre à la hausse des touristes et des vols en hélicoptère, l'exploitation minière et les opérations immobilières changent déjà le visage du parc. De surcroît, le partage des terres entre l'État fédéral, l'Arizona et les nations indiennes complique les actions de protection de l'environnement.



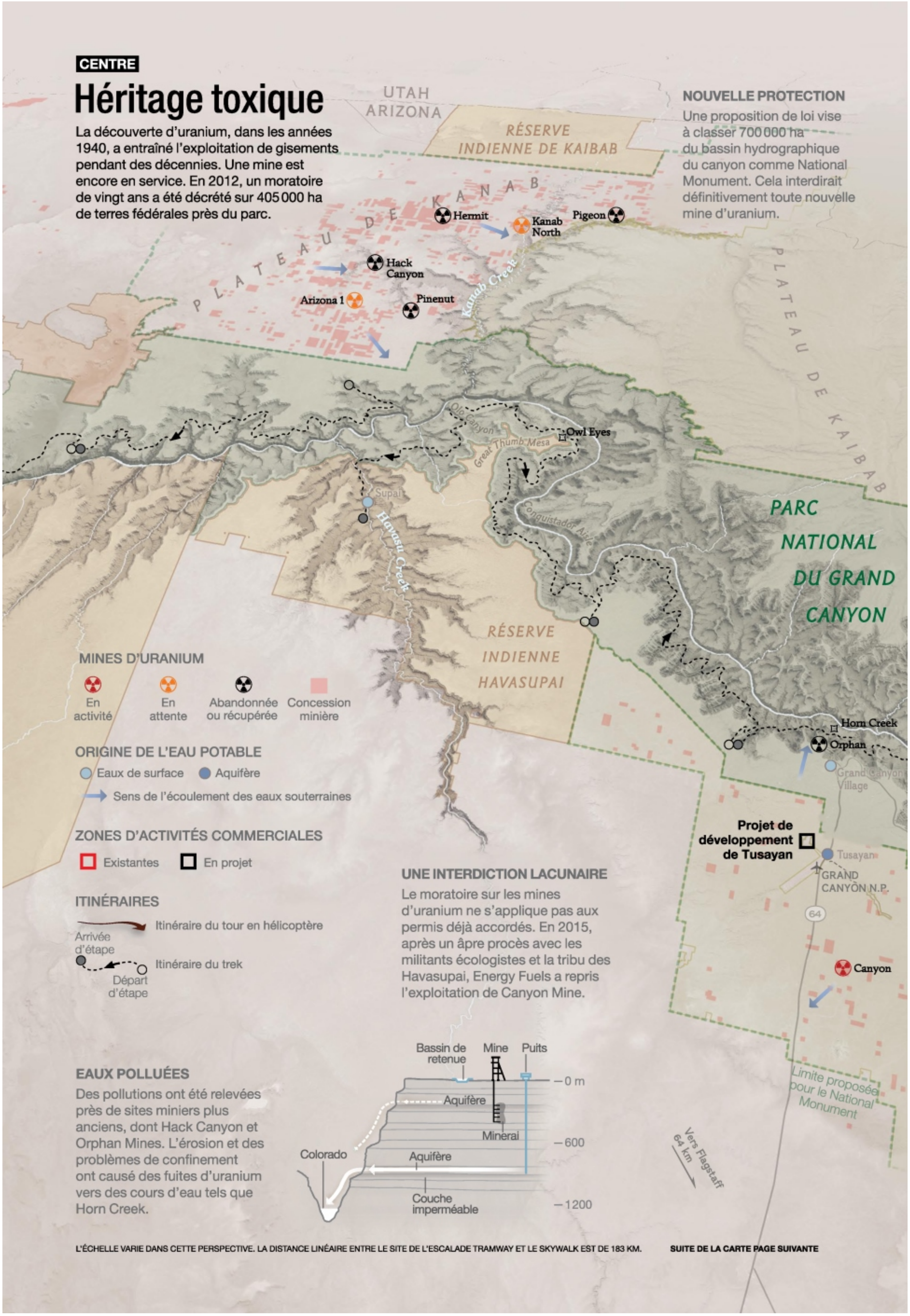
CENTRE

Héritage toxique

La découverte d'uranium, dans les années 1940, a entraîné l'exploitation de gisements pendant des décennies. Une mine est encore en service. En 2012, un moratoire de vingt ans a été décrété sur 405 000 ha de terres fédérales près du parc.

NOUVELLE PROTECTION

Une proposition de loi vise à classer 700 000 ha du bassin hydrographique du canyon comme National Monument. Cela interdirait définitivement toute nouvelle mine d'uranium.



UNE INTERDICTION LACUNAIRE

Le moratoire sur les mines d'uranium ne s'applique pas aux permis déjà accordés. En 2015, après un âpre procès avec les militants écologistes et la tribu des Havasupai, Energy Fuels a repris l'exploitation de Canyon Mine.

EAUX POLLUÉES

Des pollutions ont été relevées près de sites miniers plus anciens, dont Hack Canyon et Orphan Mines. L'érosion et des problèmes de confinement ont causé des fuites d'uranium vers des cours d'eau tels que Horn Creek.

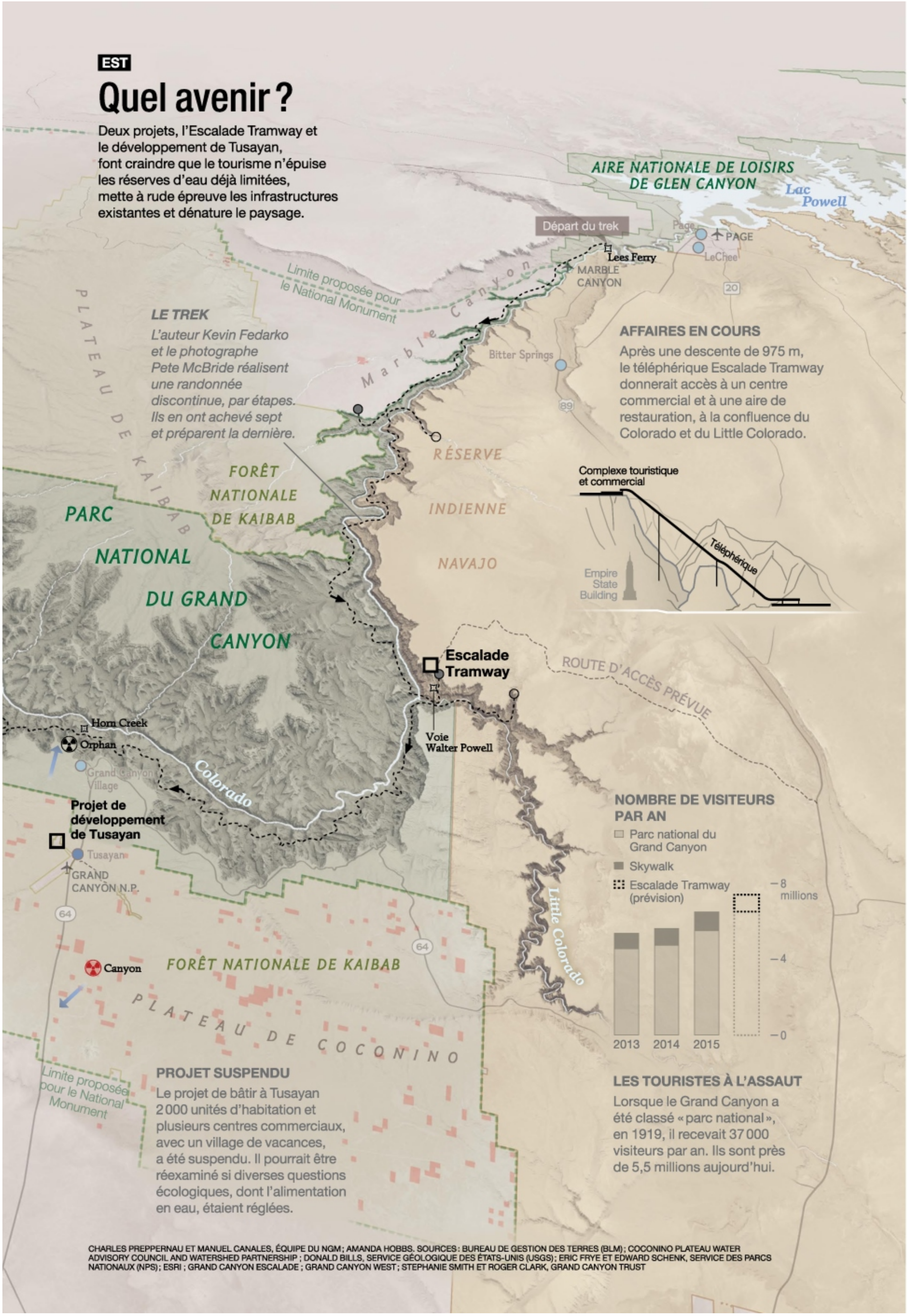
L'ÉCHELLE VARIE DANS CETTE PERSPECTIVE. LA DISTANCE LINÉAIRE ENTRE LE SITE DE L'ESCALADE TRAMWAY ET LE SKYWALK EST DE 183 KM.

SUITE DE LA CARTE PAGE SUIVANTE

EST

Quel avenir ?

Deux projets, l'Escalade Tramway et le développement de Tusayan, font craindre que le tourisme n'épuise les réserves d'eau déjà limitées, mette à rude épreuve les infrastructures existantes et dénature le paysage.



LE TREK

L'auteur Kevin Fedarko et le photographe Pete McBride réalisent une randonnée discontinue, par étapes. Ils en ont achevé sept et préparent la dernière.

AFFAIRES EN COURS

Après une descente de 975 m, le téléphérique Escalade Tramway donnerait accès à un centre commercial et à une aire de restauration, à la confluence du Colorado et du Little Colorado.

PROJET SUSPENDU

Le projet de bâtir à Tusayan 2 000 unités d'habitation et plusieurs centres commerciaux, avec un village de vacances, a été suspendu. Il pourrait être réexaminé si diverses questions écologiques, dont l'alimentation en eau, étaient réglées.

LES TOURISTES À L'ASSAUT

Lorsque le Grand Canyon a été classé « parc national », en 1919, il recevait 37 000 visiteurs par an. Ils sont près de 5,5 millions aujourd'hui.

CHARLES PREPPERNAU ET MANUEL CANALES, ÉQUIPE DU NGM ; AMANDA HOBBS. SOURCES : BUREAU DE GESTION DES TERRES (BLM) ; COCONINO PLATEAU WATER ADVISORY COUNCIL AND WATERSHED PARTNERSHIP ; DONALD BILLS, SERVICE GÉOLOGIQUE DES ÉTATS-UNIS (USGS) ; ERIC FRYE ET EDWARD SCHENK, SERVICE DES PARCS NATIONAUX (NPS) ; ESRI ; GRAND CANYON ESCALADE ; GRAND CANYON WEST ; STEPHANIE SMITH ET ROGER CLARK, GRAND CANYON TRUST

(suite de la page 105) pour transporter le guano de chauves-souris amassé dans une grotte et le vendre à des jardineries spécialisées dans la culture des rosiers ; l'affaire a périclité. Mentionnons aussi un projet gouvernemental de construction de deux barrages hydroélectriques au sein du canyon : ils auraient transformé une bonne partie du fleuve en lacs artificiels, lesquels seraient aujourd'hui bordés de house-boats et sillonnés par des Jet-Skis.

Dans les années 1960, le succès de la campagne de l'ONG Sierra Club contre ces barrages a forgé l'idée de l'inviolabilité du Grand Canyon. Pourtant, Pete et moi avions entendu parler d'une série de projets inquiétants. Des entrepreneurs futés opéraient à la lisière du Grand Canyon, dans des zones gérées, non par le Service des parcs nationaux (NPS), mais par le Service des forêts des États-Unis (USFS) ou par l'une des cinq tribus indiennes dont les réserves reconnues par le gouvernement fédéral jouxtent le canyon. Ces énormes projets de développement touristique, de tours illimités en hélicoptère et d'extraction d'uranium menaçaient de défigurer l'un des parcs naturels les plus grandioses du monde.

Il nous semblait, à Pete et à moi, que le meilleur moyen de comprendre ce qui se tramait était de suivre l'exemple de Kenton Grua et de nous enfoncer au cœur du sujet.

« Mon pote, tu vas bien ?, murmure Pete en me secouant doucement. Tu veux manger quelque chose avant de tomber dans les pommes ? » C'est la fin de septembre, le soleil se couche après notre premier jour de marche et je suis affalé en travers de l'étroit sentier de terre où nous sommes censés passer la nuit.

L'une des nombreuses difficultés auxquelles je n'étais pas préparé est la première partie du périple : elle n'a rien de progressif. Le canyon frappe en traître, imposant dès le départ l'un de ses terrains les plus punitifs. S'y ajoutent les 23 kg de matériel dans nos sacs à dos et une vague de chaleur qui fait grimper la température à 43 °C, nous déshydrate et attaque jusqu'aux semelles de nos chaussures.

Le lendemain matin, Pete est dans un état encore plus déplorable que le mien. Ses crampes musculaires sont si intenses que, lorsqu'il ôte sa chemise, on a l'impression de voir une souris frétiller sous son abdomen et courir entre ses épaules et son estomac.

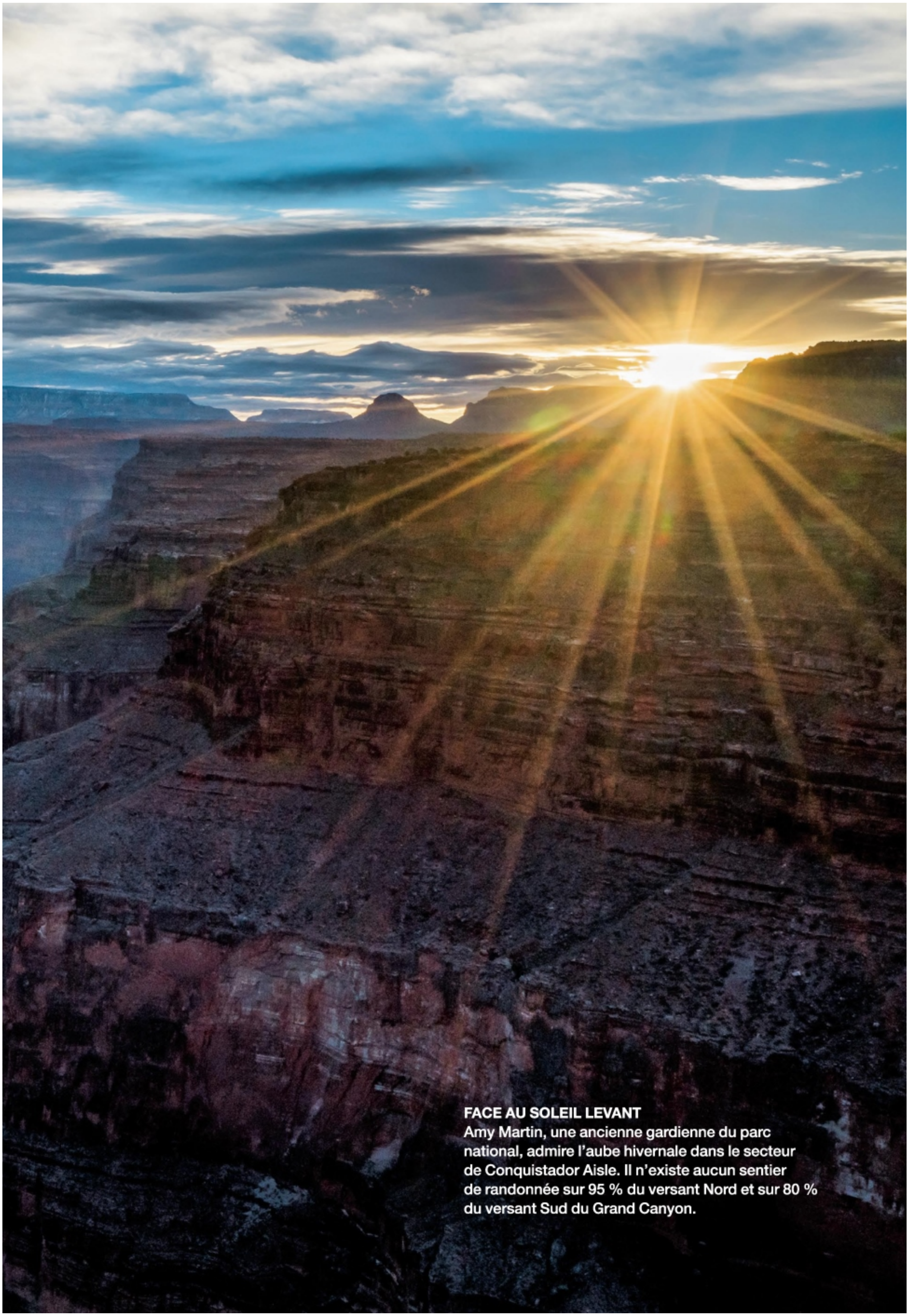
Le sixième jour, reconnaissant les limites de notre préparation, nous abandonnons Rich Rudow et ses deux coéquipiers. Sur le chemin du retour, Pete délire et se montre désorienté. À notre arrivée dans la ville de Flagstaff (Arizona), on lui diagnostique une déshydratation hyponatrémique, un déséquilibre des sels et des minéraux dû à la chaleur et qui, non traité, peut entraîner la mort.

À la fin d'octobre, intimidés mais pas vaincus, nous redescendons dans le canyon. Il y fait à présent beaucoup plus frais et nous reprenons le périple là où nous l'avions interrompu trois semaines plus tôt. Les jours suivants, nous sinuons le long de vertigineuses terrasses calcaires, qui tombent à pic dans le Colorado, à plusieurs centaines de mètres en contrebas. Peu avant le repère du mile 32, nous discernons l'entrée de la grotte où des archéologues ont trouvé des objets appartenant aux Indiens Pueblos, habitants de ces lieux pendant plus de 10 000 ans, ainsi que des restes de chèvres du mont Harrington *(Oreamnos harringtoni)* et de chameaux occidentaux *(Camelops hesternus)*. Ces créatures ont prospéré jusqu'à la fin du Pléistocène, il y environ 12 000 ans.

La routine s'installe : chaque matin, nous nous empiffrons de porridge, puis nous entamons une marche éreintante de 19 à 23 km. Ce qui implique souvent de nous hisser avec nos sacs sur 300 m de dénivelé, de descendre des pentes effroyables et de traverser des bosquets d'épineux. Ceci jusqu'au coucher du soleil. Alors, accablés et écorchés, nous faisons bouillir de l'eau et avalons un dîner réhydraté, puis nous nous allongeons et contemplons le ciel étoilé. Nous écoutons aussi un livre audio d'Edward Abbey téléchargé sur le téléphone de Pete.

Ce livre, *Désert solitaire*, est un hommage de l'auteur à deux parcs voisins du Grand Canyon : celui de Canyonlands *(suite page 112)*





FACE AU SOLEIL LEVANT
Amy Martin, une ancienne gardienne du parc national, admire l'aube hivernale dans le secteur de Conquistador Aisle. Il n'existe aucun sentier de randonnée sur 95 % du versant Nord et sur 80 % du versant Sud du Grand Canyon.

(suite de la page 109) et celui des Arches. J'ai souvent demandé à Pete de réécouter le passage où Edward Abbey met en garde ses lecteurs de sauter dans leur voiture au printemps et de foncer sur les routes avec l'espoir de voir les merveilles qu'il a tenté de décrire.

« En premier lieu, on ne peut *rien* voir d'une voiture ; vous devez vous extirper du bidule et marcher, mieux, ramper sur les mains et les genoux, sur le grès, à travers les épineux et les cactées. Quand des traces de sang commenceront à marquer votre passage, vous verrez quelque chose, peut-être. Probablement pas. »

Mes yeux se fermaient de fatigue, mais je résistais toujours pour entendre la suite :

« En second lieu, la plus grande part de ce sur quoi j'écris a disparu, ou est en train de disparaître rapidement. Ce livre n'est pas un guide de voyage, mais une élégie. Un mémorial. Vous tenez une pierre tombale entre vos mains. »

Ces mots, écrits en 1967, sont tristement prémonitoires, car le parc national des Arches, dont la beauté sauvage ravissait Edward Abbey, est aujourd'hui submergé par tant de visiteurs – 1,4 million en 2015 – que l'entrée a dû être fermée par intermittence durant le week-end du Memorial Day, en mai dernier. Et les merveilles de Glen Canyon, dont on dit qu'elles rivalisaient avec celles du Grand Canyon, gisent désormais sous la surface d'un lac de barrage de 299 km de long nommé d'après John Wesley Powell.

Comme nous allions le découvrir, Pete et moi, des changements rappelant de façon troublante tout ce contre quoi Edward Abbey nous alertait dans son ouvrage – croissance, développement et recherche effrénée de l'argent – atteignent à présent le Grand Canyon.

À 100 km en aval du site de Lees Ferry, le Colorado aux flots brun rouge rencontre son plus grand affluent au sein du canyon : le Little Colorado, dont les eaux se parent souvent d'une nuance étincelante de bleu turquoise. Le point de jonction entre le fleuve et la rivière, baptisé la « Confluence », revêt une profonde signification spirituelle pour de nombreux Indiens, parmi lesquels les Havasupais, les Zunis, les Hopis et les Navajos. Leurs terres ancestrales s'étendent toutes à l'intérieur des frontières du canyon.

Le 2 novembre au matin, nous atteignons la rive nord du fleuve, gonflons les petits radeaux que nous transportons au fond de nos sacs et pagayons vers l'autre rive. Nous commençons alors une escalade de 1 050 m sur des falaises abruptes. L'ascension nous mène à une partie isolée sur le versant est du canyon, qui jouxte la bordure occidentale de la réserve navajo. Nous avons choisi cet itinéraire parce qu'il est parallèle au trajet retenu par un groupe de promoteurs de Scottsdale (Arizona) pour construire l'Escalade Tramway. Des télécabines pour huit personnes feraient la navette entre le bord du précipice et le bord du fleuve, juste au-dessus duquel les promoteurs envisagent de bâtir un centre commercial, des restaurants et un amphithéâtre surplombant la Confluence.

Ce téléphérique pourrait véhiculer jusqu'à 10 000 visiteurs par jour dans un lieu qui en accueille rarement plus de quelques dizaines en été, et souvent aucun en hiver.

L'initiateur de ce projet inédit, R. Lamar Whitmer, est un conseiller politique qui a su convaincre des politiciens navajos que leur tribu en retirerait des revenus inespérés. Des écologistes et pratiquement toutes les tribus de la région, dont certains Navajos, s'opposent à cette entreprise. Ils ont formé un groupe baptisé Save the Confluence (« Sauvons la Confluence »). Quand l'un de ses membres, Renae Yellowhorse, a appris que Pete et moi prévoyions de sortir du canyon à un endroit dominant la Confluence, elle a aussitôt appelé un ami et lui a demandé de la conduire jusqu'à 66 km de chez elle, pour partager avec nous un ragoût de mouton traditionnel et nous faire part de son sentiment.

Selon elle, la réserve navajo bruit de rumeurs selon lesquelles Whitmer et ses associés réuniraient des investisseurs prêts à financer cette idée à 1 milliard de dollars ; ils noueraient également de nouvelles alliances avec des législateurs navajos pour contourner le président de la tribu, Russell Begaye, notoirement hostile

au projet. « Nous ne sommes pas opposés au progrès, mais le lieu n'est pas approprié, déplore Renae Yellowhorse. Quand mes petits-enfants viendront, je souhaite qu'ils voient cet endroit comme le voyaient mes ancêtres. Nous ne voulons pas que ce lieu se développe. Nous ne voulons pas voir un Disneyland au bord du canyon. »

Le conducteur et ami de Renae Yellowhorse, un homme nommé Roger Clark, vient étayer ces propos. En tant que directeur de programme du Grand Canyon Trust, un groupe de protection qui lutte depuis trente ans contre les menaces pesant sur le canyon, Roger Clark est très préoccupé par le projet de téléphérique. Mais ce qui le dérange encore plus, c'est que celui-ci s'inscrit dans un ensemble d'attaques sans précédent sur l'intégrité du canyon.

La petite localité de Tusayan constitue un autre souci pour les écologistes. Située à 3 km de l'entrée principale du versant Sud du parc, c'est une simple rue bordée de motels et de stations-service. Un consortium d'investisseurs veut la transformer en un complexe touristique, avec des milliers de nouveaux logements et un espace commercial de 10 000 m^2, comprenant des hôtels de luxe, un centre thermal et un ranch pour les visiteurs.

Tout cela exige beaucoup d'eau. Les promoteurs, menés par la société italienne Stilo, envisagent différents scénarios, y compris un train transportant l'eau ou un pipeline la captant du Colorado. Ils ont aussi obtenu le droit de creuser des puits à la surface du versant Sud, afin d'atteindre une nappe aquifère qui alimente de nombreuses sources et suinte dans les profondeurs du Grand Canyon. Ces minuscules poches, où l'eau s'écoule depuis les fissures de la roche, représentent moins de 0,01 % de la surface interne du canyon, mais chacune permet la viabilité d'un réseau complexe de plantes et d'animaux. D'après les biologistes, tout ce qui menace de polluer ou d'assécher ces sources aura des répercussions sur l'écosystème du canyon.

Roger Clark ne le savait pas au moment de notre rencontre, mais le Service des forêts des États-Unis allait bientôt refuser une demande de la municipalité de Tusayan portant sur la révision de la servitude d'une route – une décision cruciale pour la poursuite du projet. Cependant, les promoteurs ont déjà surmonté de nombreux obstacles et, s'ils trouvent le moyen de contourner celui-là, la voie sera quasiment libre pour eux.

Le projet de développement de Tusayan n'est toutefois pas la seule menace à peser sur les nappes aquifères de la région. À 10 km au sud-est de la localité – et donc également à l'extérieur du parc –, la société Energy Fuels a rouvert une mine d'uranium après d'âpres démêlés juridiques avec des militants écologistes et la tribu havasupai ; l'extraction du minerai devrait bientôt commencer. Un porte-parole de la société a nié la possibilité d'un accident majeur. Mais, selon une expertise du Service géologique des États-Unis (USGS), quinze sources et cinq puits dans la zone du Grand Canyon ont des niveaux d'uranium considérés comme dangereux pour la consommation d'eau potable. Cette pollution résulte en partie d'incidents survenus dans des mines plus anciennes.

Pendant ce temps, les Hualapais, dont la réserve borde la rive sud du Colorado, ont ouvert au trafic aérien un couloir de 35 km à l'extrémité occidentale du canyon. Grâce à la modification d'un règlement fédéral qu'elle a réclamée, la tribu peut désormais proposer un nombre illimité de tours en hélicoptère. Ces vols font le plein de touristes – beaucoup viennent de Las Vegas – et suivent la crête du canyon. Le bruit généré, de l'aube au crépuscule, est si intense que les habitants de la région ont baptisé la zone « l'allée des hélicoptères ».

« Quand on contemple cet immense panorama, on a du mal à croire qu'il puisse être dénaturé ou détruit par l'action des hommes, reconnaît Roger Clark. Mais chacune de ces menaces risque de lui faire perdre un peu de sa majesté. Et leur conjugaison pourrait priver ce paysage de ce qui le rend unique : sa capacité à instiller de l'humilité en montrant aux hommes qu'ils sont minuscules face aux forces ayant façonné cette planète et qu'ils ne sont pas le centre du monde. »



Le plus grand danger, selon Roger Clark, c'est que Tusayan, le téléphérique et l'« allée des hélicoptères » sont susceptibles d'accélérer des projets de développement voisins. Ainsi, le vif succès des tours en hélicoptère chez les Hualapais a éveillé chez des Navajos l'espoir que le téléphérique générera des possibilités de vols similaires sur le flanc est du canyon. Si ces idées se concrétisent, et si la réalisation du complexe de Tusayan progresse, l'impact sera énorme. « Il y aura un mégavillage de vacances perché directement au-dessus de la portion centrale du canyon avec, à ses extrémités, deux transporteurs aériens, chacun ancré dans sa

VOLS À LA CHAÎNE En 2015, les visites en hélicoptère ont attiré plus de 1 million de visiteurs sur les terres des Hualapais. Au printemps de la même année, dans une zone surnommée « l'allée des hélicoptères », nous avons comptabilisé 262 vols en cinq heures.

“Nous ne voulons pas voir un Disneyland au bord du canyon.”

Renae Yellowhorse,
membre de la tribu navajo



À Horn Creek, nous dépassons une grande source contaminée depuis les années 1960 par une mine d'uranium abandonnée.

À la fin janvier, alors que nous préparons notre étape la plus formidable – les 249 km de contournement de Great Thumb Mesa –, notre ami Rich Rudow réapparaît. Lui et son coéquipier, Chris Atwood, ont atteint Grand Wash Cliffs à la fin novembre. Ils sont ainsi les neuvième et dixième personnes à avoir accompli la randonnée en continu de la totalité du canyon. Leur partenaire, Dave Nally, a déclaré forfait plus tôt à cause de problèmes respiratoires. Rich Rudow, qui suit notre progression grâce aux textos que nous lui adressons, s'inquiète de nous savoir sur le Great Thumb Mesa en hiver, quand des tempêtes éclatent sans crier gare, accompagnées de chutes de neige.

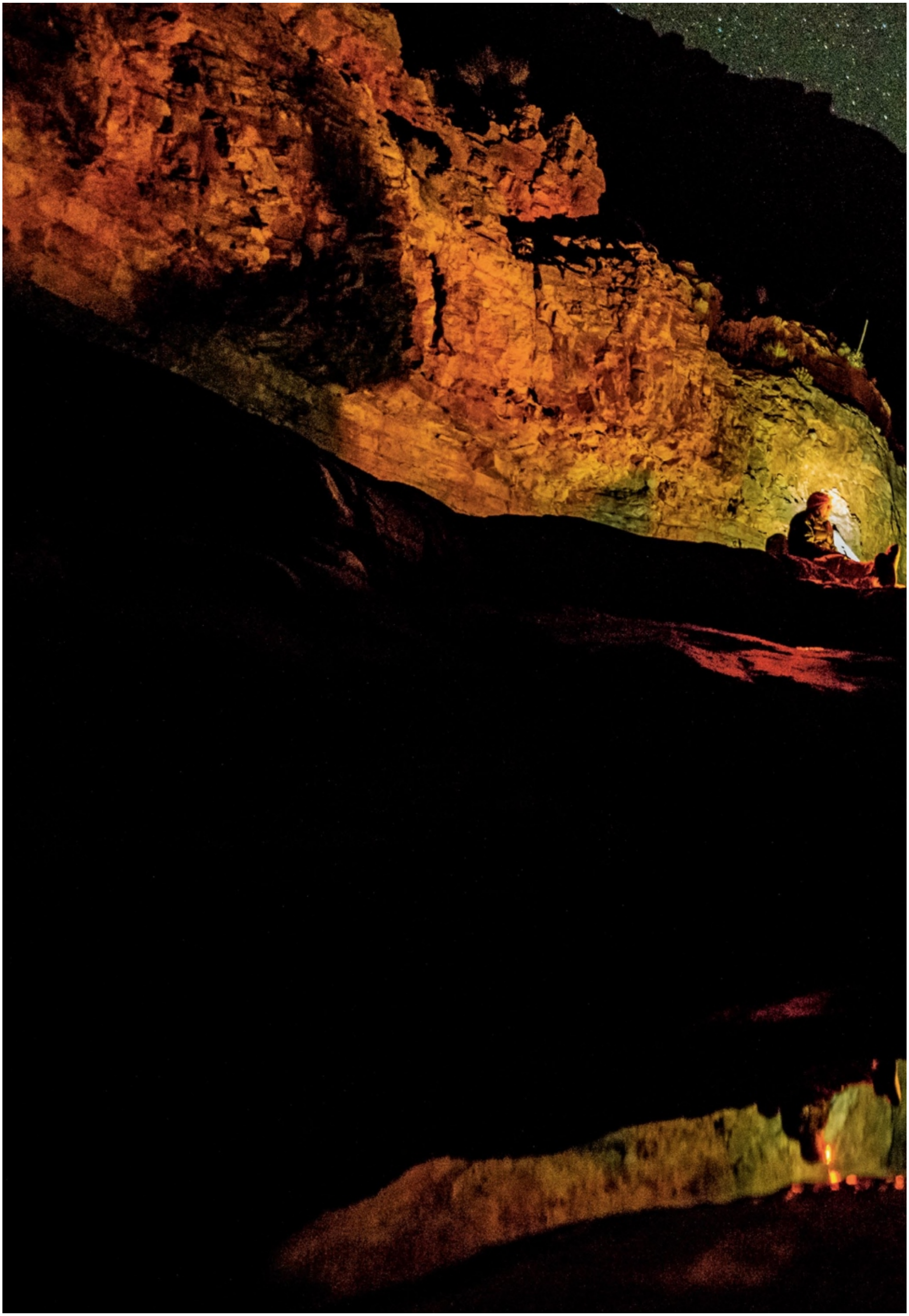
Il décide de nous rejoindre pour nous guider sur cette partie du trek. C'est ainsi que nous nous retrouvons, l'après-midi du 1er février, debout dans 30 cm de neige, à la lisière d'Owl Eyes, sans bien savoir comment nous allons traverser. De l'autre côté de la « baie » en forme de fer à cheval se trouve une grosse corniche. Si nous réussissons à gagner ce replat, nous serons en sécurité. Mais, auparavant, il faut traverser une pente très raide de schiste en espérant, si nous devions perdre pied, que la glissade s'arrêterait avant l'à-pic de 120 m de haut. C'est déjà la fin de l'après-midi. Si nous n'atteignons pas cette plateforme avant la nuit, nous serons confrontés à l'effroyable perspective de passer la nuit sur la pente sournoise d'Owl Eyes.

Un peu plus de deux heures plus tard, nous ne sommes qu'au milieu du fer à cheval. Un petit promontoire est accroché à la pente. Ce refuge inespéré ne mesure pas plus de 20 m de long, mais il offre un espace plat et, à son extrémité, quelques cailloux forment un petit tertre. Quand nous l'atteignons, nous voyons Rich Rudow s'immobiliser devant les cailloux et incliner la tête pendant un moment. Puis, il ôte ses lunettes et essuie ses larmes.

« Excusez-moi, dit-il doucement. C'est l'émotion de me retrouver ici. » C'est alors qu'il nous raconte ce qui est arrivé *(suite page 118)*

propre logique d'expansion, explique Roger Clark. L'aspect général du canyon sera transformé en quelque chose qui ressemblera moins à un parc national qu'à un parc d'attractions. »

Vers la fin novembre, après Thanksgiving, Pete et moi sommes retournés là où nous avions interrompu notre trek précédent. Et nous l'avons repris en aval. Nous ressortons du canyon 196 km plus loin, par l'entrée du versant Sud. Pour l'étape suivante, après le Nouvel An, nous parcourons 106 km. L'emplacement des sources, dont nous dépendons pour l'eau potable, détermine notre rythme quotidien.





SOUPER DANS LES GORGES
Rich Rudow, qui explore l'arrière-pays, et Kevin Fedarko dînent près d'une source de l'Olo Canyon, l'un des nombreux cours d'eau à se jeter dans le Grand Canyon. Les projets immobiliers près du parc pourraient gâcher de telles oasis et altérer les aquifères du versant Sud.



GÉANT FRAGILE Un survol de l'amont du Grand Canyon révèle, au loin, la lisière de la réserve navajo. L'immensité du canyon risque de faire oublier sa fragilité, craint Roger Clark, du Grand Canyon Trust.

(suite de la page 115) à la jeune femme en mémoire de qui ont été posées ces pierres. Ioana Elise Hociota était originaire de Roumanie, parlait quatre langues, avait une licence en mathématiques et une en biologie. Agée de 24 ans et récemment mariée, elle effectuait avec son époux, Andrew Holycross, une randonnée en plusieurs étapes, qu'ils étaient sur le point d'achever.

Durant l'hiver 2012, Ioana Elise Hociota a voulu s'attaquer à la portion de 32 km de corniches près de Great Thumb Mesa. Son mari ne pouvant l'accompagner pour des raisons professionnelles, elle a décidé de faire équipe avec

En évoluant dans une nature très ancienne, à la virginité intacte, tout rappelle l'humble place qu'y occupe l'homme.



Matthias Kawski, le professeur de mathématiques qui était son mentor à l'université. Au milieu de la traversée d'Owl Eyes, après la pause déjeuner, Matthias s'est dirigé plus haut sur la pente schisteuse, tandis que Ioana a choisi une voie plus directe et a disparu du champ de vision de son coéquipier. Une ou deux minutes plus tard, Matthias a entendu la chute de rochers, suivie d'un cri aigu puis d'un bruit sourd. Rampant au bord de la paroi, il a regardé en bas, cherchant la trace de Ioana. En vain. Il a appelé et appelé. Sans réponse. Le corps a été repéré le lendemain et un garde hélitreuillé est descendu le récupérer.

Son récit achevé, Rich Rudow regarde le soleil décliner sur la crête du canyon et annonce : « Les gars, nous devrons passer la nuit ici. » Cette nuit-là, nos bouteilles d'eau gèlent, bien que nous les ayons mises à l'abri dans les tentes dressées sur la minuscule plateforme. Et nos chaussures sont dures comme du bois. Le lendemain matin, nous les tenons au-dessus des réchauds pour les ramollir.

Après avoir levé le camp, nous avançons péniblement sur la pente enneigée jusqu'au promontoire plat, à l'extrémité d'Owl Eyes, où nous laissons notre équipement sécher au soleil.

L'endroit que nous avons traversé est triste et dangereux, et je suis soulagé d'en être sorti. Mais il est aussi très beau. Sous la lumière matinale, même la falaise le long de laquelle Ioana a dévissé est nimbée d'un vernis couleur miel qui semble l'illuminer de l'intérieur. Je comprends alors en partie ce que voulait dire Edward Abbey quand il écrivait sur la nécessité de ramper et de saigner sur le terrain, avant de voir enfin quelque chose.

Je comprends que le canyon n'est pas un parc d'attractions, mais un espace sans garde-fou où le danger est bien réel. Tout comme le sont les récompenses. L'une d'entre elles est qu'en évoluant dans une nature très ancienne, à la virginité intacte, tout rappelle l'humble place qu'y occupe notre espèce, et la fragilité de la vie. Ioana Hociota savait que de tels espaces lui étaient nécessaires. J'ai le sentiment que beaucoup d'entre nous éprouvent aussi ce besoin.

Quatre jours plus tard, nous sortons du canyon. Et, après un nouveau ravitaillement à Flagstaff, Pete et moi reprenons notre randonnée par étapes ; à la mi-mars, nous sommes à 80 km du but. Mais le canyon n'en a pas fini avec nous. Un matin, le thermomètre sur la montre de Pete indique 44 °C. C'est plus que la température qui a déclenché son hyponatrémie six mois plus tôt. Une demi-heure plus tard, nous entamons la remontée.

Au début de notre aventure, nous ne pouvions pas imaginer que, après sept treks réalisés sur une année, la fin serait en suspens. Quand vous lirez ces lignes, en septembre 2016, nous serons sans doute en train d'achever notre grande randonnée. Et, si vous lisez ces lignes dans quelques décennies, disons en 2066, j'espère que l'immensité sauvage du Grand Canyon existera toujours. ☐

Au Viêt Nam, des vies de cirque

Notre reporter s'est immergé dans le quotidien de deux cirques vietnamiens. Tour de piste.

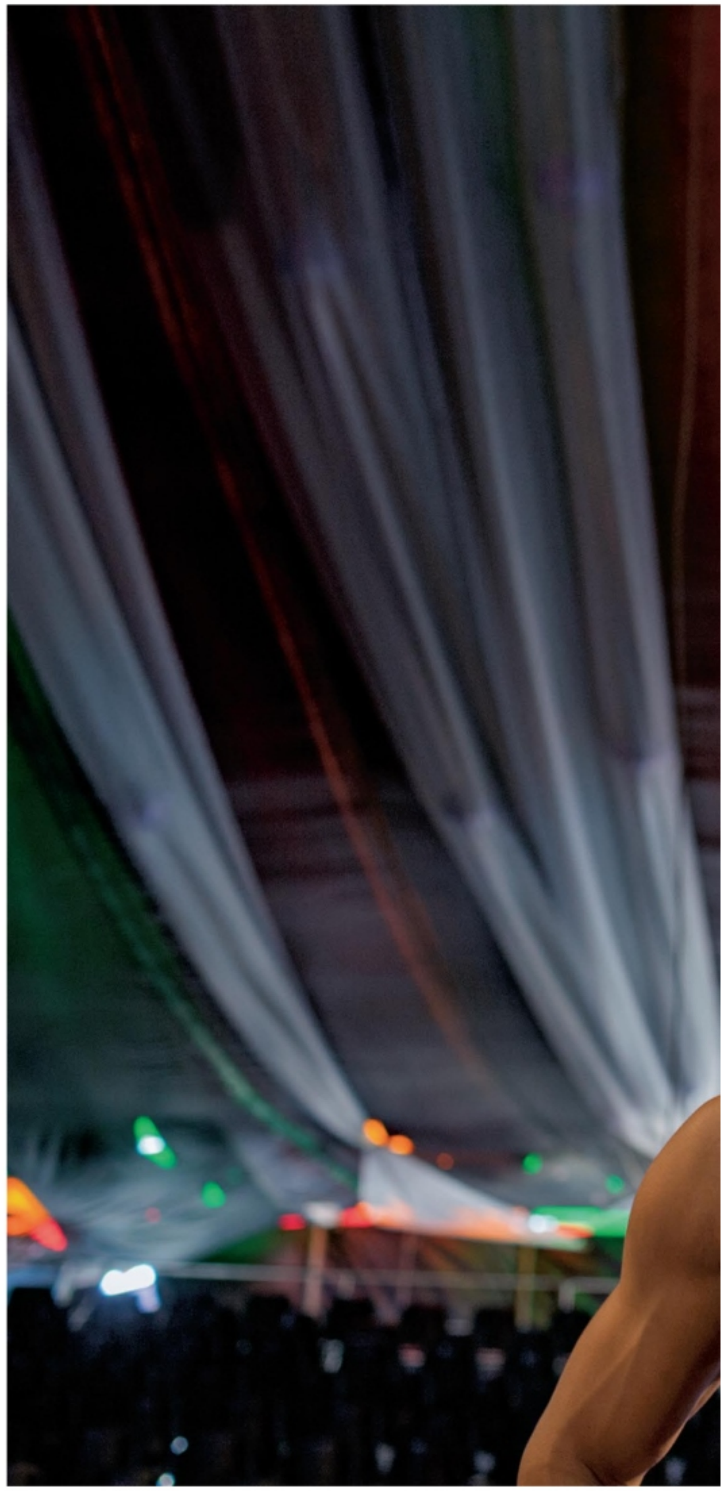
Texte et photographies
CHRISTIAN RODRIGUEZ

Entre 2009 et 2012, je me suis rendu trois fois au Viêt Nam, y passant huit mois en tout. À Hanoï, j'ai été séduit par la beauté d'un cirque. Quand j'ai fait la connaissance de ses artistes, j'ai ressenti le besoin de mettre en valeur leur travail et leur abnégation.

Les cirques offrent des spectacles qui enchantent le public. Mais, pour moi, la véritable magie se déroule en dehors de la scène.

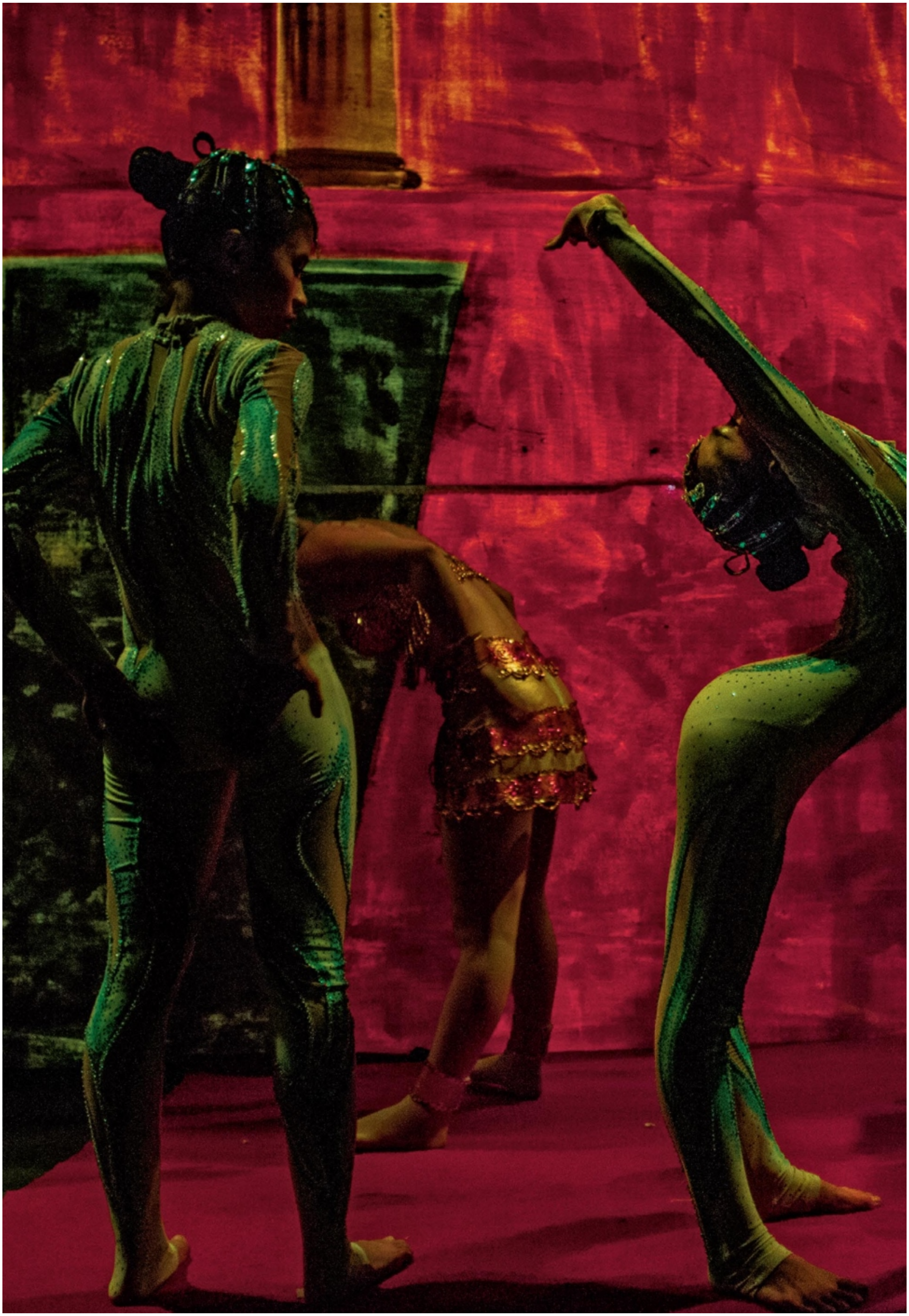
Il n'a pas été facile d'entrer dans l'intimité de ces artistes : ils préfèrent que les gens s'intéressent à leur art plutôt qu'à leur vie. Pour gagner leur confiance, j'ai dû me montrer patient. Lors de mon dernier séjour, j'ai vécu comme eux, m'installant pendant quatre mois dans un théâtre abandonné où chacun devait construire sa chambre avec du bois et du plastique.

J'ai fait preuve d'un intérêt sincère pour mes sujets et j'ai essayé de présenter leur situation aussi honnêtement que possible. Une fois accepté, je vivais simplement parmi eux, à prendre des photos et à partager leur quotidien. Voici à quoi cela ressemblait. ☐



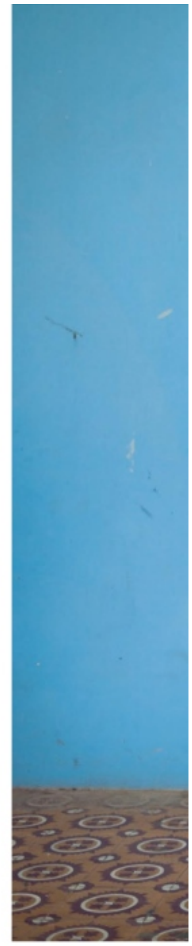
Ma Hoang An répète avec son épouse, la contorsionniste Nguyen Thi Thu Hiep, à Hô Chi Minh-Ville. Tous deux membres du cirque municipal, ils se sont mariés en 2012. Ils s'entraînent deux fois par jour pour leur numéro aérien.







ÉCHAUFFEMENT AVANT LE NUMÉRO Nguyen (au centre) s'échauffe, à Hô Chi Minh-Ville. Au Viêt Nam, les artistes de cirque gagnent environ 135 € par mois, auxquels s'ajoutent un peu moins de 4 € par représentation. Pour arrondir leurs fins de mois, beaucoup font des numéros dans des clubs ou des soirées privées.







PRÊTS À ENTRER SUR SCÈNE
Quelques minutes avant une représentation dans le parc Lénine, à Hanoï, des membres de la Fédération de cirque du Viêt Nam (FCV) se tiennent prêts (en haut, à gauche, puis dans le sens des aiguilles d'une montre) : Nguyen Linh Chi, Luu Van Cuong, Khanh Chi, Pham Thi Huong et Duong Thi Quyen. Fondée en 1956, la FCV est la plus ancienne troupe de cirque du pays. Contrairement à celle d'Hô Chi Minh-Ville, elle est financée par l'État.



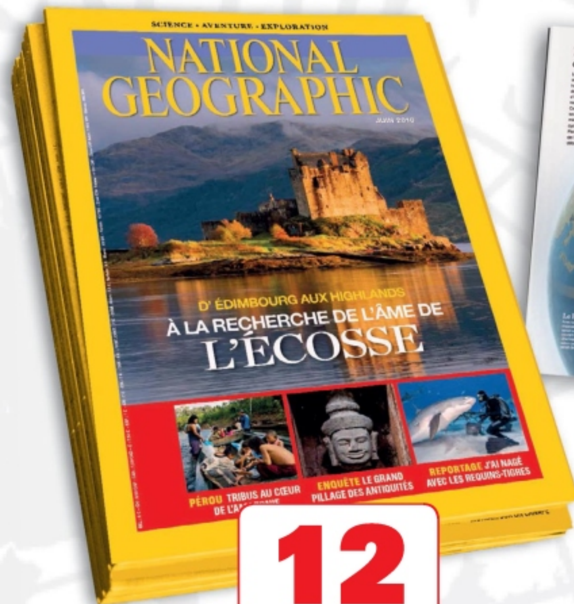


ÉCRAN DE FUMÉE
Une lumière violette et un panache de fumée remplissent le chapiteau de la FCV avant une représentation, à Hanoï. Les artistes – souvent originaires de la campagne – commencent à s'entraîner tôt le matin et réalisent plusieurs spectacles par jour. Une vie de sacrifice.

Découvrez la richesse de National

ABONNEZ-VOUS ET RECEVEZ CHAQUE MOIS NATIONAL GEOGRAPHIC DIRECTEMENT CHEZ VOUS !

Sillonnez la planète, plongez au cœur des océans, découvrez les mystères de la science et comprenez les **enjeux géographiques** et géopolitiques d'aujourd'hui.





12
NUMÉROS
PAR AN



+

VOTRE CADEAU

Le superbe coffret Laguiole



LE COUTEAU !

Ce couteau pliable, ultra pratique au manche en bois véritable vous sera utile en toutes circonstances !

- *Manche en bois de Pakka*
- *12 cm plié*
- *Lame de 9 cm en acier*

LE PORTEFEUILLE !

Ce ravissant portefeuille trouvera facilement sa place dans votre poche ou votre sacoche

- *Dimensions : ouvert : 21.5 x 9 cm, fermé: 10.5 x 9 cm*
- *3 compartiments à cartes, un espace pour les billets et un espace porte-monnaie fermé par un bouton pression*

Geographic !

LES **4 BONNES RAISONS** DE CHOISIR **L'OPTION LIBERTÉ**

€ SERVICE GRATUIT

Vous bénéficiez d'un paiement fractionné sans frais supplémentaires

SANS ENGAGEMENT

Vous êtes libre d'interrompre ou de résilier votre abonnement à tout moment par simple appel ou lettre

SOUPLE

Vous n'avancez pas d'argent et vous réglez votre abonnement tout en douceur

SIMPLE ET RAPIDE

Il vous suffit de renvoyer le mandat SEPA qui vous sera adressé par courrier après réception de votre bon d'abonnement

EN SOUSCRIVANT UN ABONNEMENT, VOUS SOUTENEZ LES PROJETS DE LA NATIONAL GEOGRAPHIC SOCIETY

La National Geographic Society a pour mission d'inspirer «le désir de protéger la planète». L'abonnement au magazine contribue à financer des explorations dédiées ainsi que des programmes d'éducation ou de recherches spécifiques...

BON D'ABONNEMENT

À compléter et à retourner sous enveloppe non affranchie à :
NATIONAL GEOGRAPHIC - Libre réponse 91149 - Service abonnements
62069 ARRAS CEDEX 9

1 JE CHOISIS MA FORMULE D'ABONNEMENT

☑ **OUI**, je m'abonne à National Geographic et je bénéficie de près de **30% de réduction**

☐ **OPTION LIBERTÉ** (12 n^os^ / an)
Je règle mon abonnement tout en douceur grâce au prélèvement automatique. **4€** par mois **au lieu de 5€50***. Une fois mon coupon réceptionné, je recevrai l'autorisation de prélèvement à remplir. J'ai bien noté que je pourrais résilier ce service à tout moment par simple lettre ou appel.

OFFRE **SANS ENGAGEMENT DE DURÉE**

☐ Je préfère régler comptant soit **48€** au lieu de ~~66€~~* (1 an / 12 n^os^).

Près de **30%** de réduction

EN CADEAU, je reçois le coffret Laguiole quelle que soit l'offre choisie.

2 JE RENSEIGNE MES COORDONNÉES (obligatoire**)

☐ Mme ☐ M

Nom : ____________________

Prénom : ____________________

Adresse: ____________________

Code Postal : ☐☐☐☐☐ Ville : ____________________

MERCI DE M'INFORMER DE LA DATE DE DÉBUT ET DE FIN DE MON ABONNEMENT

Tel : ☐☐ ☐☐ ☐☐ ☐☐ ☐☐

e-mail : ____________________

☐ Je souhaite être informé(e) des offres commerciales du groupe PRISMA MEDIA.

☐ Je souhaite être informé(e) des offres commerciales des partenaires du groupe PRISMA MEDIA.

3 JE RÈGLE MON ABONNEMENT

NGE204D

☐ Chèque bancaire à l'ordre de NATIONAL GEOGRAPHIC

☐ Carte bancaire (Visa ou Mastercard)

N° : ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐ ☐☐☐☐

Date de validité : M M A A

Cryptogramme : ☐☐☐

Date et signature obligatoires :



Je peux aussi m'abonner ou offrir un abonnement sur :
www.prismashop.nationalgeographic.fr

Si vous lisez la version numérique, cliquez ici !

*Prix de vente au numéro. **A défaut, votre abonnement ne pourra être mis en place. Offre réservée aux nouveaux abonnés de France Métropolitaine. Photos non contractuelles. Délai de livraison du premier numéro et de la prime : 2 mois dans la limite des stocks disponibles. Les informations recueillies font l'objet d'un traitement informatique à des fins d'abonnement à nos services de presse, de fidélisation et de prospection commerciale. Conformément à la loi Informatique et Libertés du 6 janvier 1978 modifiée, vous disposez d'un droit d'accès, de modification, de rectification, de suppression et d'opposition au traitement des informations vous concernant. Pour exercer ces droits, il vous suffit de nous écrire en envoyant un e-mail ou un courrier à cil@prismamedia.com ou PRISMA MEDIA, Le Correspondant Informatique et Libertés, 13, rue Henri Barbusse – 92230 Gennevilliers. Si vous acceptez que ces informations soient transmises à des partenaires du Groupe Prisma Media, ceux-ci peuvent être situés hors de l'Union Européenne.



Les ouragans ont des effets positifs sur les forêts et les océans.

Le bon côté des ouragans

Difficile à imaginer, mais les ouragans, redoutables fléaux pour les hommes, constituent une bénédiction pour la nature. Comment ? En contribuant à la régénérer. Lorsqu'ils détruisent la canopée, par exemple, ils permettent aux jeunes plantes du tapis forestier de croître. Les débris des arbres abattus fertilisent même le sol. Ce phénomène a été constaté par des scientifiques à Porto Rico, après le passage d'un ouragan ayant détruit 40 % de la forêt d'El Yunque. Vieille de 30 millions d'années, celle-ci a été frappée par près de 15 000 tempêtes tropicales au cours de son histoire. Et les chercheurs estiment qu'elles ont joué un rôle aussi essentiel que la pluie pour sa croissance. Les ouragans ne profitent pas qu'aux végétaux, ils ont également des effets positifs sur les océans. Leurs vents les brassent, faisant descendre les eaux chaudes vers le fond et remonter les eaux froides riches en nutriments en surface, avec un effet protecteur sur les coraux.

VU DANS *Ouragan,* un documentaire en 3D de Cyril Barbançon, Andy Byatt et Jacqueline Farmer, à La Géode (Paris), jusqu'au 9 octobre.



Ceci est le premier franc

Appelée « franc à cheval », cette monnaie en or a été émise pour payer la rançon du roi Jean II le Bon, captif des Anglais entre 1356 et 1360. Symbole de souveraineté, elle représente le roi en armes, brandissant son épée, sur un cheval recouvert d'un carapaçon orné de fleurs de lys. Toutes les monnaies qui existaient dans le royaume ont été fondues pour la fabriquer. Le fils de Jean, Charles V, poursuivra son émission et créera un deuxième franc, dit « franc à pied », où le roi est figuré debout, sous un dais.

DÉCOUVERT DANS **l'exposition *L'or du pouvoir, de Jules César à Marianne*, à la crypte archéologique de l'île de la Cité (Paris).**

PHOTOS : PLAINPICTURE/CULTURA/JASON PERSOFF STORMDOCTOR (OURAGAN) ; CAROLE RABOURDIN/MUSÉE CARNAVALET/ROGER-VIOLLET



L'île des chevaux zombies

Sur l'île de Pâques, les chevaux deviennent fous. Les premiers cas de *caballos locos*, des équidés rachitiques aux mouvements incohérents, sont apparus il y a vingt ans. À l'époque, les autorités avaient introduit une plante exogène, le cho-cho, pour lutter contre l'érosion. Le lien n'a été fait que récemment. Le cho-cho contient un poison qui détruit le foie des chevaux et provoque leur dégénérescence neurologique. Les vaches broutant aussi le végétal, la consommation de leur foie est désormais déconseillée.

LU DANS ***Routards du ciel, des ailes pour la science,*** **de Clémentine Bacri et Adrien Normier, éditions Le Pommier.**

Terre de feu

Les habitants de Jharia, dans l'est de l'Inde, vivent sur un brasier. Littéralement. Le sous-sol de la région est constitué de mines de charbon, qui entre parfois en combustion au contact de l'oxygène. Jadis souterraine, leur exploitation s'est faite à ciel ouvert à partir des années 1970 pour répondre à la demande croissante en minerai. Or, le sable qui devait combler les anciennes galeries a été détourné par la mafia locale. Les appels d'air ainsi créés entretiennent depuis une vraie fournaise sous les pieds des habitants. Celle-ci lézarde la terre de fissures d'où jaillissent flammes et fumées toxiques. Seules 1 000 personnes sur les 600 000 affectées ont été relogées à ce jour.

À VOIR DANS ***Jharia, une vie en enfer*****, un documentaire de Tiane Doan Na Champassak et Jean Dubrel, au musée de l'Homme (Paris), le 25 septembre, à 15 h (entrée libre).**





Égalité des sexes en Iran

« Les femmes sont des hommes », disent les Bakhtiyaris. Une manière de dire qu'elles supportent avec la même endurance les rudes conditions d'existence de ces éleveurs nomades iraniens. Malgré les coups de boutoir de la modernité et des politiques de sédentarisation forcée, ceux-ci perpétuent encore leur mode de vie ancestral. Les populations nomades d'Iran sont toutefois en chute libre, passées de 5 millions il y a un siècle à 1,5 million aujourd'hui.

DÉCOUVERT AU festival de photojournalisme Visa pour l'image (Perpignan), jusqu'au 11 septembre.

RICHARD SOBERKA/HEMIS.FR (ÎLE DE PÂQUES) ; EKLA PRODUCTIONS (INDE) ; CATALINA MARTIN-CHICO/COSMOS

Sur la piste des Martiens

En 2004, la découverte de traces de méthane sur la planète Rouge mettait le monde scientifique en émoi. Dix ans plus tard, ces données, un temps remises en cause, étaient confirmées par l'appareil d'exploration *Curiosity*. Le méthane ayant une durée de vie très courte dans l'atmosphère martienne, sa présence témoigne d'une activité récente sur la planète. Si son origine est encore incertaine, trois hypothèses sont avancées. Elle pourrait être liée à des phénomènes volcaniques, de brefs dégazages, expliquant les pics de méthane enregistrés. Ou résulter d'une activité hydrothermale, qui se caractérise par une circulation souterraine d'eau chaude liée au volcanisme. Dernière option : le méthane pourrait avoir été produit par des organismes vivants. Des petits hommes verts ? Plutôt des microbes, selon les scientifiques. Mais la piste d'une vie sur Mars se concrétise.

LU DANS *Mars, planète Rouge*, de Giles Sparrow, éditions Delachaux et Niestlé, en librairie à partir du 8 septembre.


Depuis 2012, le rover *Curiosity* explore la planète Rouge.

La forêt n'était pas vierge


Exploitation forestière de l'Amazonie péruvienne, en 1903.

Dans l'imaginaire collectif, l'Amazonie est une forêt vierge, c'est-à-dire intacte, n'ayant jamais subi l'influence de l'homme. Faux, clament les archéologues. Les découvertes sur l'époque précolombienne témoignent de l'existence de vastes zones au peuplement dense et sédentaire. Chaque année, d'anciens sols fertilisés par les agriculteurs émergent – le tabac, entre autres, y aurait été cultivé durant des millénaires. Les fouilles ont aussi mis au jour de nombreuses infrastructures : digues, canaux, routes de 50 m de large, dont l'une reliait une vingtaine de villages.

DÉCOUVERT À l'exposition *Amazonie*, au musée d'ethnographie de Genève (Suisse), jusqu'au 8 janvier 2017.

Quand les pirates servaient l'État

Au XVIe siècle, l'Espagne et le Portugal ont beau se partager le Nouveau Monde, la France n'entend pas rester à l'écart de ces richesses. Soucieuse d'éviter toute confrontation militaire directe, elle mise sur un expédient : les pirates. Contrairement aux corsaires qui feront plus tard partie de l'arsenal militaire du royaume, ceux-ci sont considérés comme hors-la-loi. Dans le seul premier tiers du XVIe siècle, ils viennent à bout de plus de 300 navires portugais. De son côté, l'État français multiplie les protestations d'innocence et d'impuissance. Mais, officieusement, il fournit argent et matériel à ces bandits, jusqu'aux propres canons des arsenaux royaux. Dans ce jeu de dupes, certains Portugais et Espagnols sont aussi de la partie. Des pilotes ibériques s'embarquent volontairement avec les forbans, tandis que des colons n'hésitent pas à commercer avec eux, donnant parfois dans le recel en achetant les marchandises dérobées à leurs compatriotes.

LU DANS ***Histoire des pirates et des corsaires*****, sous la direction de Gilbert Buti et Philippe Hrodej, CNRS Éditions, en librairie à partir du 8 septembre.**



L'avènement des sumos blancs

Le sumo n'est plus l'apanage des seuls Nippons. Depuis les années 1960, le sport s'est entrouvert aux étrangers. C'est un géant hawaïen, Jesse Kuhaulua, dit Takamiyama, qui a ouvert le bal, en 1972. Mais il a fallu attendre les années 1990 pour qu'un autre Américain, Chadwick George Ha'aheo Rowan, rebaptisé Akebono (en photo), conquière le titre de *yokozuna*, « champion suprême », le rang le plus élevé de la hiérarchie sumo. Depuis, cinq autres lutteurs non japonais – parmi lesquels quatre Mongols – ont accédé à cet honneur.

LU DANS notre hors-série « Le Japon, un siècle de photos par National Geographic », en kiosque jusqu'au 25 octobre.

J. SHEARER/WIREIMAGE FOR BWR PUBLIC RELATIONS/GETTYIMAGES

150 CADEAUX
POUR NOS ABONNÉS

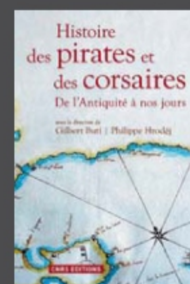


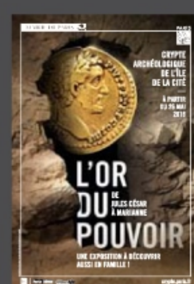
100 invitations

pour le documentaire en 3D *Ouragan* à La Géode (à Paris) sont à gagner au 0826 963 964, à partir du 7 septembre 2016, à 9 h (0,15 €/min). Les gagnants seront les premiers à appeler. Offre limitée à 2 invitations par foyer.

10 livres

Histoire des pirates et des corsaires sont à gagner au 0826 963 964 à partir du 7 septembre 2016, à 9 h (0,15 €/min). Les gagnants seront les premiers à appeler. Offre limitée à 1 livre par foyer.





30 invitations

pour l'exposition *L'or du pouvoir* (à Paris) sont à gagner au 0826 963 964 à partir du 8 septembre 2016, à 9 h (0,15 €/min). Les gagnants seront les premiers à appeler. Offre limitée à 2 invitations par foyer.

10 livres

Mars, planète Rouge sont à gagner au 0826 963 964 à partir du 8 septembre 2016, à 9 h (0,15 €/min). Les gagnants seront les premiers à appeler. Offre limitée à 1 livre par foyer.





Copyright : O. Caillaud

NOMADE AVENTURE

Découvrez Libre & Nomade en Thaïlande : la toute nouvelle offre sur mesure proposée par Nomade Aventure ! De nombreuses idées de voyages originales pour tous les budgets et tous les âges, trek, rando, découverte culturelle, séjour balnéaire, immersion, au plus près de la nature… Des aventures à votre thaï !

Rens. : 01 46 33 31 37
www.libre-nomade-thailande.com



MONTURE VOLARE DE SERENGETI

Portez-la, dépliez-la et reportez la ! Le modèle Volare de Serengeti est le plus compact des lunettes de soleil premium dans le monde. En effet, Volare est 12% plus compact dans sa position repliée que les modèles pliables les plus renommés du secteur. Son design élégant permet une intégration parfaite et discrète de ses mécanismes de pliage de sorte que personne ne pourra soupçonner qu'il s'agit d'une pliable lorsque vous la porterez. Les branches et le pont en titane sont fabriqués à la main pour un look robuste et son poids est très léger pour apporter un confort optimal. C'est la paire de lunettes idéale pour partir en voyage !

www.serengeti-eyewear.com

LE PETIT MARSEILLAIS



Au fil des shampoings, votre couleur perd de son éclat. Pour que vos cheveux colorés conservent une couleur éclatante avec le temps, ils ont besoin d'être nourris et protégés. Ensoleillé par nature, Le Petit Marseillais innove en offrant un vrai bain de soleil aux cheveux colorés. La marque experte vous propose sa gamme de soins pour cheveux colorés à la pulpe de grenade et l'huile d'argan : des produits au parfum envoûtant pour nourrir et protéger les cheveux et leur permettre de rester brillants et resplendissants au fil des colorations. Pour que votre couleur reste éclatante !

www.lepetitmarseillais.com



«LES MONTRES» FONT LEUR SHOW

Voyage d'exception dans l'univers de l'Horlogerie mondiale haut de gamme, le salon «Les Montres» ouvrira ses portes, du 22 au 24 septembre, place Saint-Germain-des-Prés à Paris. Orchestrée par Arnaud et Jean Lassaussois, propriétaires des boutiques parisiennes Les Montres, cette 12ème édition dévoilera les nouveautés des marques, parmi les plus prestigieuses. Gratuit et ouvert à tous, cet événement horloger intimiste est le rendez-vous annuel des amateurs de belles mécaniques. Pour parfaire ses connaissances horlogères ou acquérir sur place les montres présentées …

www.boutiquelesmontres.com

BOSCH



Les outils multifonctions Bosch, des outils polyvalents pour tous les projets. Qu'il s'agisse de poncer, couper, scier ou gratter, ces outils sont parfaits pour réaliser des travaux de moyenne ou grande ampleur. Polyvalent, les outils multifonctions sont à la hauteur de toutes les ambitions, que ce soit à l'intérieur ou à l'extérieur. Le PMF 350 CES est, quant à lui, parfait pour mener de grands projets de rénovation : équipé d'un moteur de 350 W, il est puissant et dispose d'une gamme d'accessoires spécifiques.

PMF 220 CE : 99,99 € TTC / PMF 250 CES : 139,99 € TTC / PMF 350 CES : 179,98 € TTC

www.bosch-do-it.com

Dans notre numéro d'octobre 2016

En kiosque le 29 septembre



Les rois Serpent

Cette dynastie a régné sur le plus vaste et le plus puissant royaume des Mayas.



L'Europe face aux migrants

Plus de 1 million de réfugiés sont arrivés sur le continent l'an dernier. Beaucoup ont fui la guerre dans leur pays d'origine.



Trafic tragique

Qu'adviendra-t-il des rhinocéros si un homme suspecté de trafic et un éleveur arrivent à faire lever l'interdiction de la vente des cornes ?



Les joyaux de la couronne caribéenne

À environ 80 km au sud de Cuba se trouve une zone marine pleine de surprises et de merveilles.

PHOTOS (DE HAUT EN BAS) : DAVID COVENTRY ; ROBBIN HAMMOND ; BRENT STIRTON ; DAVID DOUBILET ET JENNIFER HAYES

NATIONAL GEOGRAPHIC FRANCE

National Geographic Society est enregistrée à Washington, D.C. comme organisation scientifique et éducative à but non lucratif dont la vocation est d'explorer et de protéger notre planète.

NATIONAL GEOGRAPHIC FRANCE

13, rue Henri-Barbusse - 92624 Gennevilliers Cedex
Standard : 01 73 05 60 96

RÉDACTEUR EN CHEF JEAN-PIERRE VRIGNAUD
RÉDACTRICE EN CHEF ADJOINTE Catherine Ritchie
DIRECTRICE ARTISTIQUE Elsa Bonhomme
CHEF DE SERVICE Corinne Soulay
SECRÉTAIRES DE RÉDACTION Fabien Maréchal, Sophie Hervier
MAQUETTISTE Hélène Verger
VERSION NUMÉRIQUE ET ASSISTANTE DE LA RÉDACTION Nadège Lucas
SITE INTERNET Olivier Liffran

CONSULTANTS SCIENTIFIQUES
Philippe Bouchet, *systématique*
Jean Chaline, *paléontologie*
Françoise Claro, *zoologie*
Bernard Dézert, *géographie*
Jean-Yves Empereur, *archéologie*
Jean-Claude Gall, *géologie*
Jean Guilaine, *préhistoire*
André Langaney, *anthropologie*
Pierre Lasserre, *océanographie*
Hervé Le Guyader, *biologie*
Hervé Le Treut, *climatologie*
Anny-Chantal Levasseur-Regourd, *astronomie*
Jean Malaurie, *ethnologie*
François Ramade, *écologie*
Alain Zivie, *égyptologie*

ONT COLLABORÉ À CE NUMÉRO :
Emanuela Ascoli, Philippe Babo, Béatrice Bocard, Philippe Bonnet, Jean-François Chaix, Sonia Constantin, Bernard Cucchi, Pierre Gontrand, Joëlle Hauzeur, Hélène Inayetian, Marie-Pascale Lescot, Hugues Piolet

Licence de NATIONAL GEOGRAPHIC PARTNERS
Magazine mensuel édité par : **NG France**
Siège social : 13, rue Henri-Barbusse, 92624 Gennevilliers Cedex
Société en Nom Collectif au capital de 5 892 154,52 €
Ses principaux associés sont : PRISMA MÉDIA et VIVIA

ROLF HEINZ,
DIRECTEUR DE LA PUBLICATION, GÉRANT
13, rue Henri-Barbusse, 92624 Gennevilliers Cedex
Tél. : 01 73 05 60 96

MARKETING ET BUSINESS DÉVELOPPEMENT
Julie Le Floch, **directrice**
DIFFUSION
Serge Hayek, **Directeur Commercial Réseau** (01 73 05 64 71)
Bruno Recurt, **Directeur des ventes** (01 73 05 56 76)
Laurent Grolée, **Directeur Marketing Client** (01 73 05 60 25)
Charles Jouvin, **Directeur Marketing, Études et Communication** (01 73 05 53 28)
PUBLICITÉ
DIRECTEUR EXÉCUTIF PRISMA MEDIA SOLUTIONS :
Philipp Schmidt (01 73 05 51 88)
DIRECTRICE COMMERCIALE : Virginie Lubot (01 73 05 64 50)
DIRECTRICE COMMERCIALE (opérations spéciales) :
Géraldine Pangrazzi (01 73 05 47 49)
DIRECTEUR DE PUBLICITÉ :
Arnaud Maillard (01 73 05 49 81)
DIRECTRICES DE CLIENTÈLE :
Evelyne Allain Tholy (01 73 05 64 24); Laetitia Barrau (01 73 05 69 80); Sabine Zimmermann (01 73 05 64 69)
DIRECTRICE DE PUBLICITÉ – SECTEUR AUTOMOBILE ET LUXE :
Dominique Bellanger (01 73 05 45 28)
Responsable Back Office : Katell Bideau (01 73 05 65 62)
Responsable Exécution : Albane Ojardias (01 73 05 64 94)
Assistante Commerciale : Corinne Prod'homme (01 73 05 64 50)

FABRICATION
Stéphane Roussiès, Mélanie Moitié
Imprimé en Pologne : RR Donnelley, ul. Obr. Modlina 11, 30-733 Kraków, Poland

Dépôt légal : septembre 2016
Diffusion : Presstalis. ISSN 1297-1715.
Commission paritaire : 1214 K 79161.

SERVICE ABONNEMENTS
NATIONAL GEOGRAPHIC FRANCE ET DOM-TOM
62066 Arras Cedex 09. Tél. : 0 811 23 22 21
www.prismashop.nationalgeographic.fr

VENTE AU NUMÉRO ET CONSULTATION : Tél. : 0 811 23 22 21 (prix d'une communication locale)
Abonnement
France : 1 an - 12 numéros : 56 €
Belgique : 1 an - 12 numéros : 56 €
Suisse : 14 mois - 14 numéros : 79 CHF
(Suisse et Belgique : offre valable pour un premier abonnement)
Canada : 1 an - 12 numéros : 73 CAN$


Sea Bubble : la voiture qui volera bientôt sur l'eau

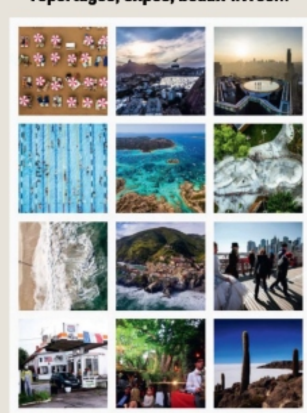
Aucun commentaire

Alain Thébault, déjà créateur de l'Hydroptère, a mis au point un véhicule électrique pour circuler sur les fleuves, rivières et lacs. Test prévu à Paris dès le printemps prochain.


Au Maroc, on transforme le brouillard en eau potable

Aucun commentaire

Des filets tendus pour piéger le brouillard et récolter de l'eau potable. Depuis 2014, cette méthode ingénieuse est utilisée dans le sud du Maroc afin de répondre à la pénurie du précieux liquide.



Innover pour changer le monde
Topher White, ingénieur et physicien

Des téléphones portables au secours des forêts tropicales

La déforestation, en majorité illégale, est l'un des facteurs principaux du changement climatique. Pour repérer les braconniers en temps réel, l'Américain Topher White a mis au point un système à partir de portables recyclés.

Quel est le lien entre la déforestation et le changement climatique ?
La déforestation est responsable d'environ 17 % du total des émissions de CO_2. Et, selon Interpol, entre 50 et 90 % des abattages en forêt tropicale sont illégaux.

Comment avez-vous pensé à utiliser de vieux téléphones pour repérer cette exploitation forestière illicite ?
Tout a commencé quand j'étais bénévole dans un sanctuaire pour gibbons, en Indonésie. L'abattage illégal des arbres constituait un problème coûteux : trois gardes à plein temps avaient été embauchés pour protéger le site. Venant des univers de la physique et du génie logiciel, je savais qu'il serait assez facile de détecter les sons des tronçonneuses, même lorsque les hommes ne les entendent pas, en programmant de vieux portables.

Comment marche votre système ?
Le téléphone, protégé par un boîtier en plastique, est alimenté par des panneaux solaires. Un micro sensible permet d'entendre une tronçonneuse à 1 km de distance. Comme chaque téléphone peut couvrir une superficie de près de 260 ha, inutile d'en utiliser beaucoup. Ils captent le son et le transmettent par le réseau téléphonique jusqu'au *cloud*, où nous l'analysons en temps réel. Des alertes sont alors envoyées aux gardes forestiers, en général par SMS. Plus vite ils arrivent sur place, plus on minimise les dégâts. — *Simon Worrall*



Ce système artisanal permet de percevoir le son d'une tronçonneuse à 1 km de distance.

PHOTO : RAINFOREST CONNECTION



CHANEL
BLEU
DE
CHANEL
EAU DE PARFUM
BOUTIQUE EN LIGNE CHANEL.COM
La Ligne de CHANEL - Tél. 0 800 255 005 (appel gratuit depuis un poste fixe).